

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در شرایط تنش‌های متفاوت رطوبتی با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE-biplot در ارقام مصنوعی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

ایرج همتی^۱، سیدسعید پورداد^{۲*}، رجب چوکان^۳

۱، دانشجوی، گروه اصلاح نباتات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲، عضو هیئت‌علمی (استاد)، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.

۳، عضو هیئت‌علمی (استاد)، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، ۲۰ ژنوتیپ اصلاح‌شده داخلی آفتابگردان در ۱۰ محیط شامل چهار منطقه در شرایط رطوبتی متفاوت طی سه سال زراعی (۹۰-۹۱، ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های حاصل از عملکرد دانه از طریق تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات بررسی شدند. بر اساس نتایج حاصل، ژنوتیپ‌های (Sil-42)G3، (Sil-75)G15، (Sil-20)G17، (Sil-82)G14 و (Sil-162)G6 از نظر پایداری و عملکرد مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند، هم‌چنین ژنوتیپ‌های (Sil-231)G9، (Sil-94)G4 و (Armavskii)G20 به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. نمودار رابطه بین محیط‌ها نشان داد که بین محیط‌های E3 و E7، محیط‌های E4، E5 و E6 و هم‌چنین بین محیط‌های E2، E10 و E8 همبستگی بالایی وجود داشت. محیط E9 با سه محیط E2، E8 و E10 همبستگی مثبت داشت. از طرفی محیط‌های E7 و E3 با محیط‌های E10، E2، E8 و E9 همبستگی منفی و نزدیک به -۱ داشتند. بین محیط گروه E6، E5 و E4 با محیط‌های گروه E10، E2، E8 و E9 همبستگی وجود نداشت، لذا تقریباً محیط‌های مجزا محسوب شدند. مطلوب‌ترین محیط، محیط E4 (سرارود)، سال زراعی ۹۰-۸۹ با آبیاری تکمیلی بود که کمترین فاصله را از محیط فرضی ایده‌آل داشت. محیط E1 (گچساران)، سال زراعی ۹۳-۹۲، بدون آبیاری به‌عنوان نامطلوب‌ترین محیط شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، اثر متقابل، پایداری، GGE بای‌پلات.

مقدمه

پروتئین می‌باشد. پس از استخراج روغن، کنجاله‌هایی که باقی می‌ماند دارای ۱۳ درصد فیبر و ۴۰ درصد پروتئین بوده و به دلیل این‌که کنجاله این گیاه دارای اسیدآمینو لیستین، آرژنین و میتونین است در تغذیه دام و طیور ارزش زیادی دارند. پدیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای دانشمندان علوم ژنتیک، اصلاح نباتات و اصلاح دام دارای اهمیت ویژه‌ای است (Allard et al., 1964). آگاهی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاح گران نبات کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیشتری عمل کرده و بهترین

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که در حدود ۱۱/۸ درصد از تولید جهانی روغن نباتی را به خود اختصاص داده است. دانه آفتابگردان بسته به ارقام مختلف دارای ۲۶ تا ۵۰ درصد روغن است. این روغن نه تنها فاقد هرگونه اسید چرب مضر برای انسان یا دام است بلکه به علت داشتن اسیدهای چرب مفید نظیر اسید اولئیک، اسید پالمیتیک و اسید استئاریک موجب شده است که امروزه میلیون‌ها نفر در سراسر جهان از آن استفاده نمایند (Seiler, 2007). دانه آفتابگردان دارای حدود ۱۶ درصد

اهداف تحقیق شامل مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد دانه آفتابگردان و معرفی پایدارترین و مطلوب‌ترین رقم و یا ارقام آفتابگردان در مناطق و محیط‌های تحت بررسی بود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ۱۷ رقم مصنوعی آفتابگردان، به اسامی Sil-94, Sil-42, Sil-54, Sil-96, Sil-140, Sil-162, Sil-200, Sil-205, Sil-211, Sil-210, Sil-224, Sil-80, Sil-82, Sil-75, Sil-53 و Sil-20 و سه رقم آزادگرده‌افشان Zaria, Lacomka و Armaverski به‌عنوان شاهد مورد مطالعه قرار گرفتند. در این آزمایش ۴ مکان به نام‌های سرارود (کرمانشاه)، گچساران، قاملو (کردستان) و گنبد حضور داشتند که در سرارود کرمانشاه در سال‌های زراعی ۹۰-۸۹، ۹۱-۹۰ و ۹۳-۹۲ در دو شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی کشت انجام شد. در قاملو در دو سال زراعی ۹۱-۹۰ و ۹۳-۹۲ در گچساران و گنبد نیز در سال زراعی ۹۳-۹۲ فقط در شرایط بدون آبیاری کشت صورت گرفت. لذا در کل ۱۰ محیط مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش در کلیه ایستگاه‌ها، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

عملیات تهیه بستر شامل شخم و دیسک در اوایل مهرماه و پنجه‌غازی و دیسک در اوایل اسفندماه، هم‌چنین کودپاشی بر اساس نتایج تجزیه خاک صورت گرفت. هر کرت شامل چهار خط چهارمتری به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بودند که بذرها به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف‌ها کشت شدند. در هر محیط تمامی ۲۰ ژنوتیپ مورد آزمایش کشت شدند. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد آزمایش و کد آن‌ها در جدول ۱ و مشخصات جغرافیایی محیط‌های مورد آزمایش در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به محیط‌های مورد آزمایش، محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس مرکب و تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات انجام شد. برای تجزیه واریانس مرکب از نرم‌افزار SAS و تجزیه گرافیکی از نرم‌افزار GGE بای‌پلات استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفت عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های تحت بررسی در کلیه محیط‌های مورد آزمایش

ژنوتیپ‌ها را انتخاب کنند (Allard and Bradshaw, 1964; Purchase, 1997). اشاره به اثر اصلی ژنوتیپ (G) به‌اضافه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط دارد. این کمیت بخشی از تغییرات را که به ارزیابی ارقام مربوط می‌شود، تشکیل می‌دهد. روش بای‌پلات توسط گابریل (Gabriel, 1971) به وجود آمد و بعداً توسط کمپتون (Kempton, 1984) و زوبل و همکاران (Zobel et al., 1988) گسترش یافت. کاربرد وسیع و سودمندی GGE بای‌پلات توسط یان و همکاران (Yan et al., 2000) توضیح داده شد. GGE بای‌پلات یک روش چندوجهی در تجزیه ژنتیک کمی و اصلاح نباتات است که علاوه بر تجزیه GEI (اثر متقابل ژنوتیپ و محیط)، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و صفت، ژنوتیپ و مارکر و تجزیه داده‌های مربوط به تلاقی دی‌آلل را نیز انجام می‌دهد. این خصوصیات، GGE بای‌پلات را به یک ابزار قوی و جامع در ژنتیک کمی و اصلاح نباتات تبدیل نموده است. آنچه در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است، این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا حذف اثر محیط از محیط داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (GE) می‌بایست به‌صورت توأم بررسی شوند. روش GGE بای‌پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر هم‌زمان و به‌صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (Yan and Kang, 2003).

در بین روش‌های چند متغیره تجزیه پایداری، سه روش AMMI، GGE Biplot و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر پایه ریشه راکد منفرد (SVD) بنا نهاده شده‌اند و اغلب برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد ناحیه‌ای استفاده می‌شوند. در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (GE) از هم تفکیک نشده‌اند. گاچ (Gauch, 2006) اظهار داشت که روش AMMI به‌جای تفکیک GE از یکدیگر همواره بر روش GGE بای‌پلات ارجحیت دارد و یا حداقل از نظر دقت با آن برابر است. این در حالی است که کنگ (Kang, 1993) عقیده دارد که از دیدگاه به‌نژادگران و نیز تولیدکنندگان محصولات زراعی، گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس G و یا GE به‌تنهایی مدنظر نیست. یان و همکاران (Yan et al., 2007) نیز اعتقاد دارند که روش GGE بای‌پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ×محیط از روش AMMI موفق‌تر است.

واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بخش کوچکی (۱۶/۸۹٪) از تغییرات، اما بیشتر از واریانس بین ژنوتیپ‌ها (۳/۸۴٪) را توجیه کرده است. با توجه به این که محیط‌های آزمایش طیف وسیع آب و هوایی مناطق سرد، معتدل و گرمسیر کشور را شامل شده است، لذا تخصیص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. پورداد و غفاری (Pourdad and Ghaffari, 2009) در کلزا ۷۹٪ تغییرات و پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshidmoghaddam, 2012) در گلرنگ پاییزه ۸۰٪ تغییرات را به محیط‌ها نسبت دادند. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نیز سهم کوچکی، اما بیشتر از ژنوتیپ، را به خود اختصاص داده بود.

نشان داد که اثرات محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴).

اختلاف بین محیط‌ها در کلیه صفات می‌تواند ناشی از اختلاف مکان‌ها و نیز اختلاف سال‌های مختلف آزمایش از نظر مقدار بارندگی و دما باشد. همچنین معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه، بیانگر عکس‌العمل متفاوت ارقام در محیط‌های متفاوت است. محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به مجموع آن‌ها در جدول (۴) نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده (۶۲/۵۹٪) و

جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد آزمایش آفتابگردان و کد آن‌ها

Table 1. Sunflower genotypes under investigation and their codes

شماره ژنوتیپ Number of genotype	کد ژنوتیپ Genotypic code	نام ژنوتیپ Name of genotype	شماره ژنوتیپ Number of genotype	کد ژنوتیپ Genotypic code	نام ژنوتیپ Name of genotype
1	G1	Sil-96	11	G11	Sil-211
2	G2	Sil-54	12	G12	Sil-224
3	G3	Sil-42	13	G13	Sil-80
4	G4	Sil-94	14	G14	Sil-82
5	G5	Sil-140	15	G15	Sil-75
6	G6	Sil-162	16	G16	Sil-53
7	G7	Sil-200	17	G17	Sil-20
8	G8	Sil-205	18	G18	Lacomka
9	G9	Sil-231	19	G19	Zarya
10	G10	Sil-210	20	G20	Arnaveski

جدول ۲. محیط‌های آزمایشی و مشخصات جغرافیایی آن‌ها

Table 2. Test environments and their geographical specifications

Location	مکان	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع Height (m)	بارندگی بلندمدت Long-term rainfall (mm)
Gachsaran	گچساران	E'20°30	N'50°50	710	487
Ghamlo	فاملو	E'14° 47	N'23° 35	1850	362
Kermanshah	کرمانشاه	E'07° 47	N'19° 34	1351	454
Gonbad	گنبد	E'16°55	N'25° 37	52	500

جدول ۳. کد، میزان بارندگی و متوسط درجه حرارت هر یک از محیط‌های تحت بررسی

Table 3. Code, precipitation and Average temperature of environments under study

Conditions	شرايط	سال زراعی	محل محیط	کد محیط	بارندگی سالیانه (میلی متر)	متوسط درجه حرارت (سانتیگراد)
Conditions		Cropping year	Location environment	Environmental code	Annual rainfall (mm)	Average temperature (°C)
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۲-۹۳	گچساران	E1	410.4	20
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۰-۹۱	قاملو	E2	313.8	6.2
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۸۹-۹۰	کرمانشاه	E3	342.5	11.57
With Irrigation	با آبیاری	۸۹-۹۰	کرمانشاه	E4	342.5	11.57
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۰-۹۱	کرمانشاه	E5	302.7	10.6
With Irrigation	با آبیاری	۹۰-۹۱	کرمانشاه	E6	302.7	10.6
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۲-۹۳	گنبد	E7	335.8	17.98
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۲-۹۳	کرمانشاه	E8	401.3	11.1
With Irrigation	با آبیاری	۹۲-۹۳	کرمانشاه	E9	401.3	11.1
Without- Irrigation	بدون آبیاری	۹۲-۹۳	قاملو	E10	291	6.3

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه آفتابگردان

Table 4. Combine analysis of variance for sunflower seed yield.

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد از مجموع مربعات کل
S.O.V		df	SS	MS	Percentage of total SS
Environment (E)	محیط	9	28.35	3.15 **	62.59
Error 1	خطای اول	18	3.5	0.19	
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	1.74	0.09 **	3.84
G×E	ژنوتیپ×محیط	171	7.65	0.04 **	16.89
Error 2	خطای دوم	380	3.05	0.01	
Total	کل	599	45.29	0.08	

* و ** به ترتیب عبارت‌اند از معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and ** significant at 5 and 1 per cent level of probability respectively.

است (Yan, 2002). شکل (۱)، نتایج حاصل از روش GGE در نمودار بای‌پلات محور افقی (PC1)، معرف اثر اصلی ژنوتیپ و محور عمودی (PC2)، معرف اثر متقابل G×E

در نمودار بای‌پلات محور افقی (PC1)، معرف اثر اصلی ژنوتیپ و محور عمودی (PC2)، معرف اثر متقابل G×E

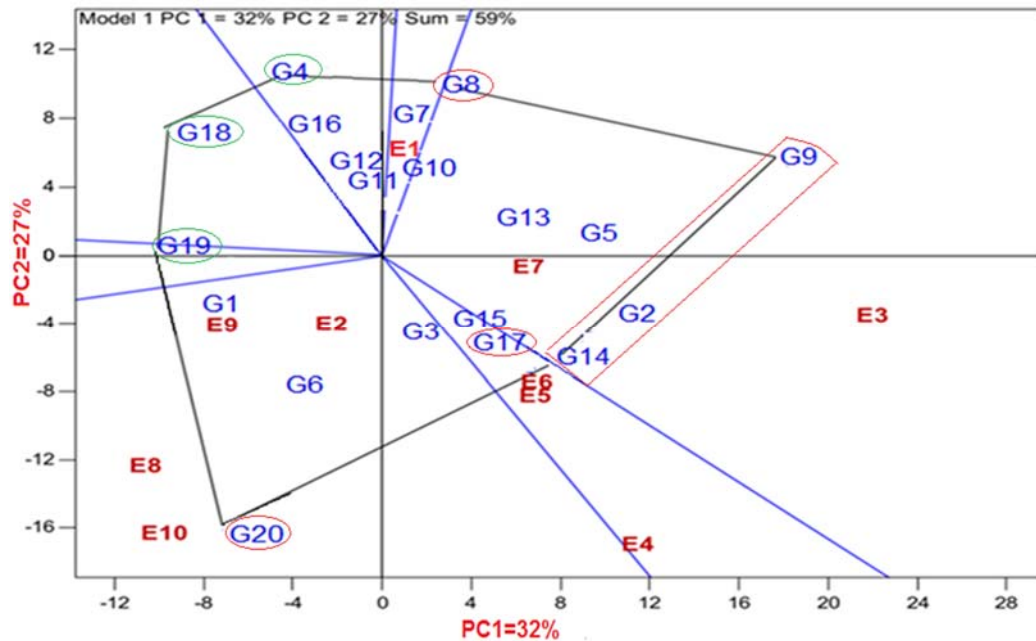
ژنوتیپ‌های ضعیف در اکثر محیط‌ها به شمار می‌آیند. پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshidmoghaddam, 2012) با استفاده از روش GGE بای‌پلات در بررسی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ در شش ایستگاه تحقیقاتی نشان دادند که چندضلعی بای‌پلات منجر به شناسایی شش ژنوتیپ برتر و چهار محیط بزرگ شد. هفت ژنوتیپ دیگر در نواحی قرار گرفتند که هیچ محیطی قرار نداشت.

در آزمایش‌های تعیین سازگاری و پایداری ارقام که در چندین سال و مکان اجرا می‌شوند، با تعیین همبستگی بین محیط‌ها می‌توان محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف نمود که این امر منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد شد (Yan and Rajcan, 2002; Yan and Kang, 2003). بررسی بین محیط‌ها (شکل ۲) نشان داد که زاویه بین بردارهای محیط‌های E3 و E7 و نیز بین محیط‌های E4، E5 و E6 و هم‌چنین بین محیط‌های E2، E10 و E8 بسیار به هم نزدیک بوده و بیانگر همبستگی بالای این محیط‌ها با یکدیگرند. هم‌چنین محیط E9 با سه محیط E2، E8 و E10 زاویه حاده داشته که بیانگر همبستگی مثبت بین آن‌هاست. در مقابل زاویه بین بردارهای محیط‌های E7 و E3 با محیط‌های E2، E8 و E9 باز بوده که بیانگر وجود همبستگی منفی و نزدیک به -۱ بین آن‌ها بود. محیط گروه E6، E5 و E4 با محیط‌های گروه E2، E8 و E10 زاویه نزدیک به قائمه داشتند لذا حدوداً محیط‌های مجزا محسوب می‌شوند. محیط‌های E2 تا E10 با محیط E1 همبستگی ضعیفی دارند. ویژگی مهم دیگر در بای‌پلات، همبستگی بین محیط‌ها و طول بردار محیط است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و نیز شاخصی برای قابلیت تمایز محیط‌ها است (Yan and Kang, 2003). قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده، به طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام ارائه نمایند (Yan and Kang, 2003). بررسی بردارهای محیط‌ها در شکل (۲) نشان داد که محیط‌های E7 (گنبد ۹۳-۹۲، بدون آبیاری)، E2 (قاملو ۹۱-۹۰، بدون آبیاری) و E1 (گچساران ۹۳-۹۲، بدون آبیاری) دارای طول بردار نسبتاً کوتاه بودند که بیانگر کم بودن قابلیت تمایز آن‌ها است. در مقابل محیط‌های E3 (کرمانشاه ۹۰-۸۹، بدون آبیاری)، E5 (کرمانشاه ۹۱-۹۰، بدون آبیاری)، E6 (کرمانشاه ۹۱-۹۰، آبیاری تکمیلی)، E4 (کرمانشاه ۹۰-۸۹، آبیاری تکمیلی)، E10 (قاملو ۹۳-۹۲،

مشاهده شد که مؤلفه اصلی اول (PC1)، ۳۲ درصد، مؤلفه اصلی دوم (PC2)، ۲۷ درصد و در مجموع ۵۹ درصد از تغییرات کل ژنوتیپ در محیط را توجیه کرده‌اند که بیانگر معتبر بودن نسبی بای‌پلات در توجیه تغییرات G+GE است. اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرات موجود را توجیه نماید، بیانگر ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده (Yan and Tinker, 2005)، اما الزاماً به معنای غیر معتبر بودن بای‌پلات نیست (Yan et al., 2007). روش‌های مختلفی برای استفاده از یک GGE بای‌پلات وجود دارد که بهترین آن استفاده از چندضلعی است که برای شناسایی و مطالعه محیط‌های بزرگ استفاده می‌شود. بررسی شکل چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به منظور تعیین ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ در شکل (۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های G14، G9، G8، G4، G18، G19، G20 که بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات داشته و در رئوس چندضلعی قرار دارند، ژنوتیپ‌های برتر بودند. مابقی ژنوتیپ‌ها که در داخل این حلقه قرار دارند به مرکز بای‌پلات نزدیک‌ترند. خطوطی که از مرکز بای‌پلات رسم شده‌اند، شکل پلی‌گون (شکل ۱) را به هفت مگا محیط تقسیم کرده است. اولین مگا محیط شامل محیط‌های E4، E5 و E6 بود که در آن ژنوتیپ G17 دارای بیشترین عملکرد بود. دومین مگا محیط شامل محیط‌های E3 و E7 بود که G2، G14 و G9 ژنوتیپ‌های برتر این محیط بودند. سومین مگا محیط حاوی محیط E1 بود که G8 ژنوتیپ پرعملکرد این محیط بود. چهارمین مگا محیط شامل محیط‌های E2، E9، E8 و E10 بود که در آن ژنوتیپ G20، ژنوتیپ برتر بود. در مگا محیط یک، ژنوتیپ G15، در مگا محیط دوم، ژنوتیپ‌های G5 و G13، در مگا محیط سوم، ژنوتیپ‌های G7 و G10 و در مگا محیط چهارم، ژنوتیپ‌های G1 و G6 علاوه بر ژنوتیپ واقع در رأس وجود داشتند. این ارقام در هر بخش دارای شباهت زیادی به ژنوتیپ‌های واقع در رأس بوده و با محیط‌های بزرگ مربوطه سازگاری داشتند. در سه بخشی که ژنوتیپ‌های G4، G18 و G19 در رأس آن‌ها قرار دارند، هیچ محیطی قرار نگرفته است. این امر بیانگر آن است که این سه رقم در هیچ‌یک از محیط‌ها عملکرد قابل قبولی نداشته و جزء ارقام ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. هم‌چنین ژنوتیپ‌های G11، G12 و G16 در محیطی که ژنوتیپ G4 در رأس آن قرار دارد، جزء

رطوبتی نشان دادند که دو منطقه شیروان و کوهدشت محیط‌های مشابهی بوده و وجود یا عدم وجود تنش نتوانسته بود بین آن‌ها تفاوت زیادی ایجاد کند، اما محیط‌های زنجان، قاملو، کوهدشت و سرارود (کرمانشاه) در شرایط بدون تنش رطوبتی دارای قابلیت تمایز بیشتری بودند.

بدون آبیاری، E8 (کرمانشاه ۹۲-۹۳، بدون آبیاری) و E9 (کرمانشاه ۹۲-۹۳، آبیاری تکمیلی) دارای طول بردار بلند و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری بودند. پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshidmoghaddam, 2012) استفاده از روش GGE بای‌پلات در بررسی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ در شش ایستگاه تحقیقاتی در شرایط با و بدون تنش



شکل ۱. چندضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر (G) در محیط‌های (E) مختلف. محیط‌ها شامل E1: گچساران-دیم، E2: قاملو-دیم، E3: کرمانشاه-دیم، E4: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E5: کرمانشاه-دیم، E6: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E7: گنبد-دیم، E8: کرمانشاه-دیم، E9: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E10: قاملو-دیم.

Fig. 1. Polygon view of GGE-biplot for determining superior genotypes (G) in different environments (E). Environments are E1: Gachsaran-without Irrigation; E2: Ghamlo-without Irrigation; E3: Kermanshah-without Irrigation; E4: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E5: Kermanshah-without Irrigation; E6: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E7: Gonbad-without Irrigation; E8: Kermanshah-without Irrigation; E9: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E10: Ghamlo-without Irrigation.

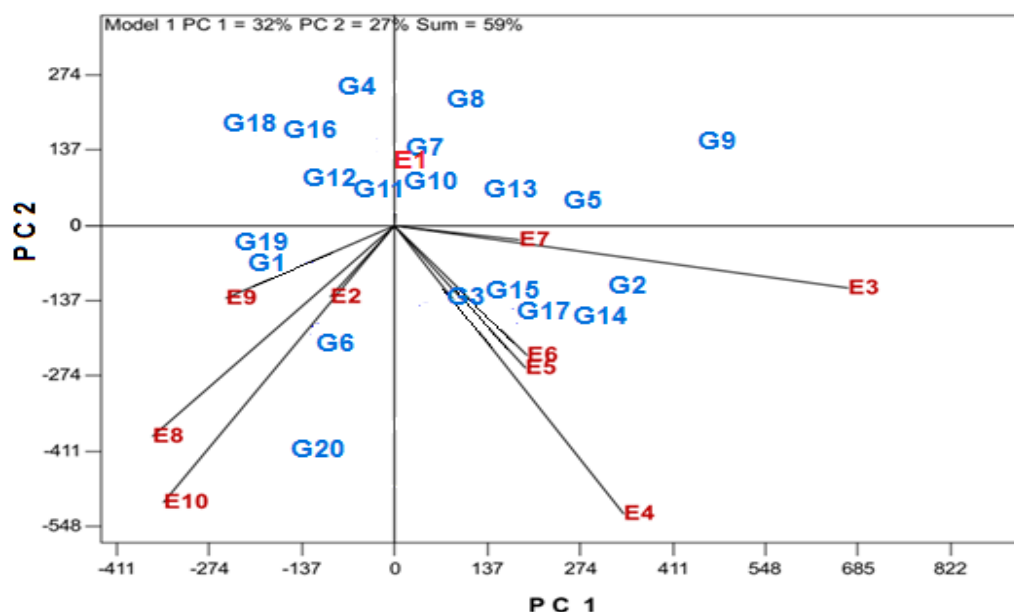
ژنوتیپ‌هایی که در طرف مثبت محور میانگین محیط‌ها قرار دارند میانگین عملکرد بیشتری نسبت به میانگین عملکرد کل دارند. نتایج شکل (۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های G17 و بعد از آن ژنوتیپ‌های G15، G2، G3، G14 و G6 دارای بیشترین عملکرد هستند. محوری که دارای دو پیکان بوده و از مبدأ مختصات می‌گذرد عمود بر محور میانگین محیط است. این محور بیانگر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده و پایداری ژنوتیپ‌ها را مشخص می‌کند هر چه ژنوتیپ‌ها به

برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها از مختصات محیط متوسط (Average environment coordinate) استفاده می‌گردد (Yan and Kang, 2003). به این شکل بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز گفته می‌شود (Yan et al., 2007). در این بای‌پلات محوری که دارای یک پیکان است از مبدأ مختصات می‌گذرد، تصویر ژنوتیپ‌ها روی این محور تقریبی از عملکرد ژنوتیپ‌ها است، این محور را محور میانگین محیط می‌نامند (شکل ۳).

باشد (Yan, 2001). شکل (۴) وضعیت ژنوتیپ‌های مورد بررسی، نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل را نمایش می‌دهد. بر اساس این بای‌پلات هر ژنوتیپی که کمترین فاصله با ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد، به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی می‌شود. در مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل با توجه به شکل (۴)، مشخص شد که ژنوتیپ G17 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بوده که بیشترین عملکرد را داشته و به علت قرار داشتن نزدیک محور میانگین محیط جزء ژنوتیپ‌های پایدار نیز بود. ژنوتیپ‌های G3 و G15 که دارای پایداری بالایی بودند نیز به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بوده و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب گزینش شوند. در مقابل ژنوتیپ‌های G8 و G4 که بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی داشتند به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshidmoghaddam, 2012) با استفاده از روش GGE بای‌پلات در بررسی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ در شش ایستگاه تحقیقاتی در شرایط با و بدون تنش رطوبتی نشان دادند که رقم Hartman نزدیک‌ترین رقم به ژنوتیپ ایده‌آل بوده و Gila و Sina نیز به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند.

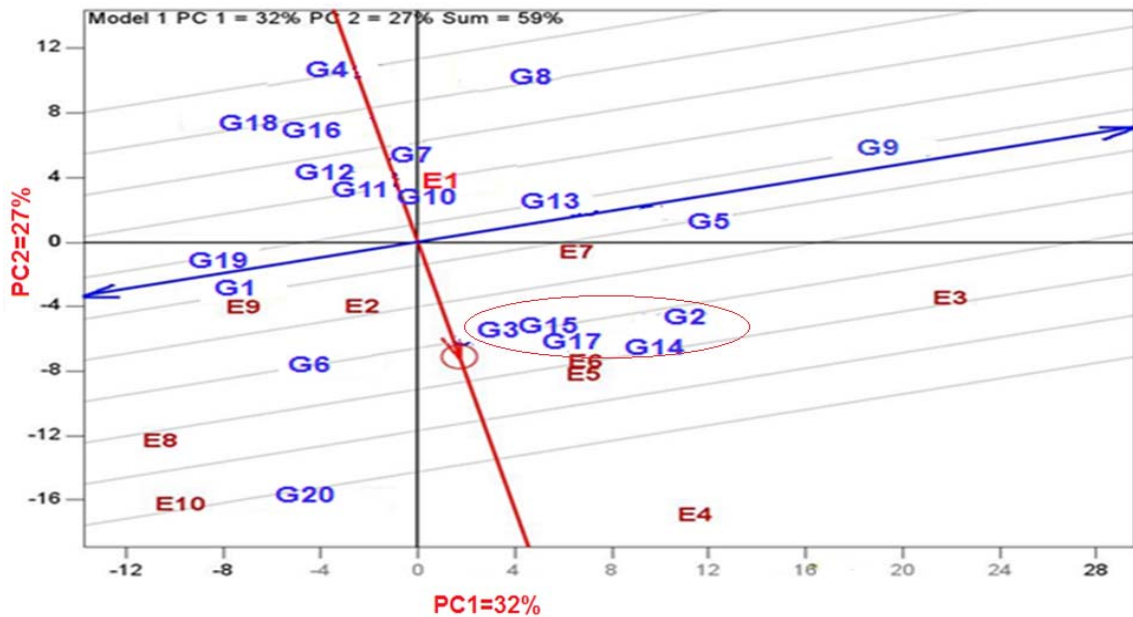
مبدأ این محور نزدیک‌تر باشند، نسبت به ژنوتیپ‌های دورتر پایداری بیشتری دارند. از نظر این بای‌پلات یک ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی است که علاوه بر عملکرد بالا، پایداری بالایی هم داشته باشد. شکل (۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های G17، G15، G3، G14 و G6 دارای عملکرد و پایداری بالا بودند. ژنوتیپ‌های G11، G10، G12، G13، G19 و G7 دارای عملکرد پایین و پایداری بالا بودند. ژنوتیپ‌های G1 و G5 عملکرد و پایداری متوسط داشتند. ژنوتیپ G9، G4 و G20 ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. رقم مصنوعی G9 دارای بیشترین عملکرد دانه و پایداری مناسب (نزدیک به مرکز محور پایداری) بود. در تحقیقی توسط پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshidmoghaddam, 2012)، بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد گلرنگ با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط، مشخص شد که ارقام Hartman، Gila و Sina با عملکرد زیاد دارای پایداری بیشتری نیز بودند.

ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که علاوه بر پایداری، میانگین عملکرد بالایی هم داشته باشد و در بای‌پلات، از نظر مکانی در مرکز دواير متحدالمرکز قرار داشته



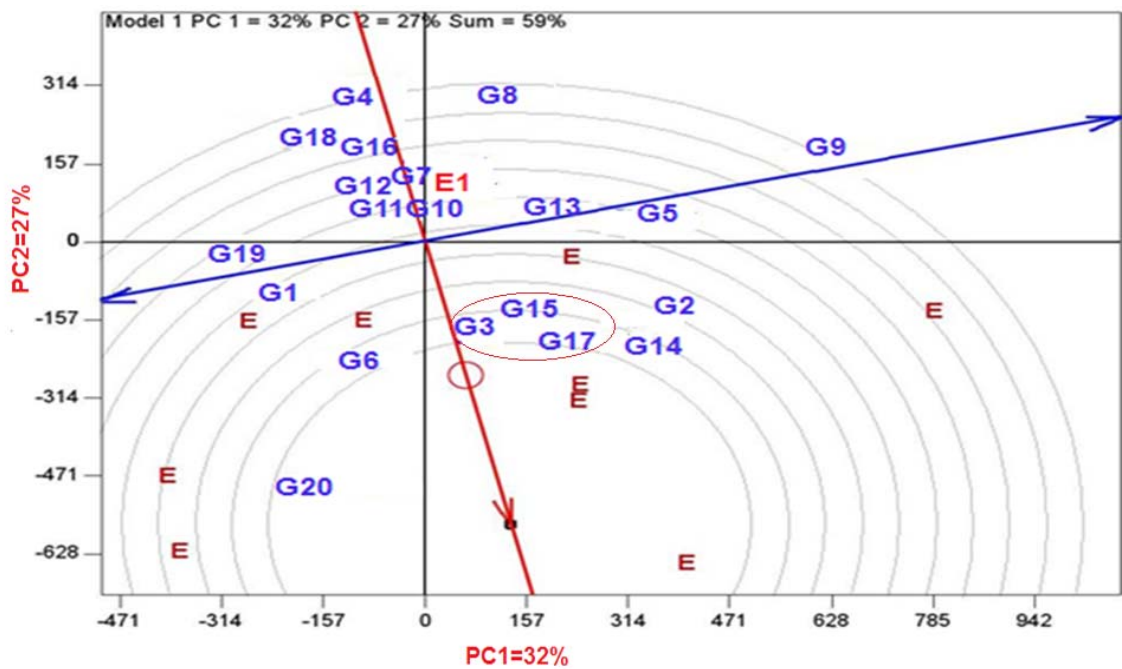
شکل ۲. نمایش گرافیکی رابطه بین محیط‌ها. محیط‌ها شامل E1: گچساران-بدیم، E2: قاملو-بدیم، E3: کرمانشاه-بدیم، E4: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E5: کرمانشاه-بدیم، E6: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E7: گنبد-بدیم، E8: کرمانشاه-بدیم، E9: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E10: قاملو-بدیم.

Fig. 2. Graphical representation of the relationship between environments. Environments are E1: Gachsaran-without Irrigation; E2: Ghamlo-without Irrigation; E3: Kermanshah-without Irrigation; E4: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E5: Kermanshah-without Irrigation; E6: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E7: Gonbad-without Irrigation; E8: Kermanshah-without Irrigation; E9: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E10: Ghamlo-without Irrigation.



شکل ۳. بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های آفتابگردان. محیط‌ها شامل E1: گچساران- دیم، E2: قاملو- دیم، E3: کرمانشاه- دیم، E4: کرمانشاه- آبیاری تکمیلی، E5: کرمانشاه- دیم، E6: کرمانشاه- آبیاری تکمیلی، E7: گنبد- دیم، E8: کرمانشاه- دیم، E9: کرمانشاه- آبیاری تکمیلی، E10: قاملو- دیم.

Fig. 3. The average environment coordinate biplot (AEC) for simultaneous selection of yield and stability of sunflower genotypes. Environments are E1: Gachsaran-without Irrigation; E2: Ghamlo-without Irrigation; E3: Kermanshah-without Irrigation; E4: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E5: Kermanshah-without Irrigation; E6: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E7: Gonbad-without Irrigation; E8: Kermanshah-without Irrigation; E9: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E10: Ghamlo-without Irrigation.

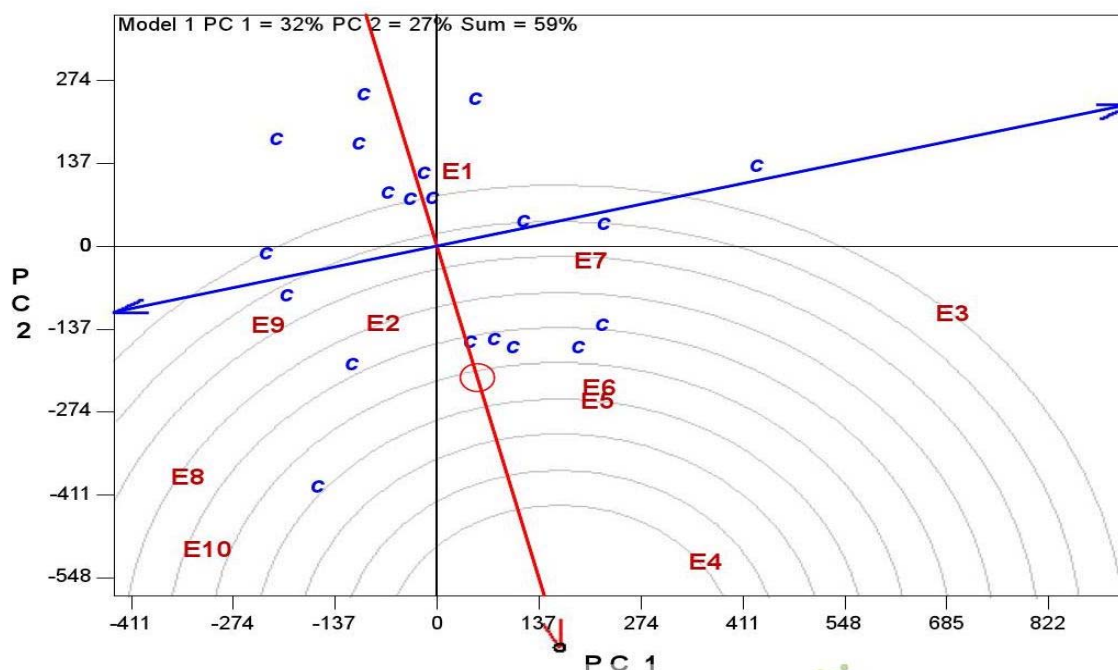


شکل ۴. بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های آفتابگردان نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل از نظر عملکرد و پایداری

Fig. 4. Biplot for comparison of the sunflower genotypes with the ideal genotype for yield and stability.

توجه به شکل (۵)، مطلوب‌ترین محیط، محیط E4 (سرارود)، سال زراعی ۸۹-۹۰ با آبیاری تکمیلی) است که کمترین فاصله از محیط ایده‌آل فرضی در مرکز دایره دارد، سپس محیط‌های E5، E6، E10، E2، E8، E7، E9، E3 و E1 به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند که در بین آن‌ها محیط E1 (گچساران، سال ۹۲-۹۳، بدون آبیاری) نامطلوب‌ترین محیط بود.

یک محیط ایده‌آل باید دارای دو مشخصه باشد: دارای حداکثر قابلیت تشخیص باشد و نمایندگی محیط هدف را دارا باشد (Yan and Kang, 2003). نرم‌افزار GGE با-پلات از میانگین محیط‌ها به‌عنوان یک معیار استفاده می‌کند. محیط ایده‌آل فرضی در مرکز دایره متحدالمرکز در بای‌پلات قرار دارد. لذا مطلوبیت محیط‌های موردبررسی نسبت به فاصله آن‌ها از محیط فرضی ایده‌آل که در مرکز دایره متحدالمرکز در بای‌پلات قرار دارد، سنجیده می‌شود. با



شکل ۵. بای‌پلات مقایسه محیط‌ها نسبت به محیط ایده‌آل. محیط‌ها شامل E1: گچساران-دیم، E2: قاملو-دیم، E3: کرمانشاه-دیم، E4: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E5: کرمانشاه-دیم، E6: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E7: گنبد-دیم، E8: کرمانشاه-دیم، E9: کرمانشاه-آبیاری تکمیلی، E10: قاملو-دیم.

Fig. 5. Biplot of comparison of the environments with the ideal environment. Environments are E1: Gachsaran-without Irrigation; E2: Ghamlo-without Irrigation; E3: Kermanshah-without Irrigation; E4: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E5: Kermanshah-without Irrigation; E6: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E7: Gonbad-without Irrigation; E8: Kermanshah-without Irrigation; E9: Kermanshah-with Supplementary Irrigation; E10: Ghamlo-without Irrigation.

نتیجه‌گیری
بر اساس نتایج حاصل از شکل‌های ۱ و ۳ که مهم‌ترین اشکال حاصل از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات هستند، ژنوتیپ‌های (Sil-42)G3، (Sil-82)G14، (Sil-75)G15 و (Sil-20)G17 پایدارترین و مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند، از طرفی ژنوتیپ‌های (Sil-231)G9، (Sil-94)G4 و

به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. هم‌چنین نتایج تجزیه GGE بای‌پلات توانست محیط E4 (سرارود، سال زراعی ۸۹-۹۰ با آبیاری تکمیلی) که دارای کمترین فاصله از محیط فرضی ایده‌آل بود را به‌عنوان مطلوب‌ترین محیط معرفی کند.

منابع

- Allard, R.W., Bradshaw, A.D., 1964. Implication of Genotype-Environment Interactions in Applied Plant Breeding. *Crop Science*. 4, 503-508.
- Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*. 58, 453-467.
- Gauch, H.G., 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 46, 1488-1500.
- Kang, M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*. 85, 754-757.
- Kempton, R.A., 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science*. 103, 123-135.
- Pourdad, S.S., Jamshidmoghaddam, M., 2012. Evaluation of yield stability of spring sunflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes using GGE biplot. 12th Iranian Crop Sciences Congress, September 4-6. Karaj, Iran. [In Persian].
- Pourdad, S.S., Ghaffari, A., 2009. Comparison of parametric and non-parametric yield stability measures and their relationship in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm dry-lands of Iran. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*. 3, 35-40.
- Purchase, J., 1997. Parametric analysis to describe genotype×environment interaction and yield stability in winter wheat. PhD. University of the Free State, South Africa.
- Seiler, G.J., 2007. Wild annual *Helianthus anomalus* and *H. deserticola* for improving oil content. *Agriculture and Forest Meteorology*. 74, 22-29.
- 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., Kang, M.S., Woods, B.M., Cornelius, P.L., 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*. 47, 643-655.
- Yan, W., Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*. 42, 11-20.
- Yan, W., Tinker, N.A., 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. *Crop Science*. 45, 1004-1016.
- Yan, W., Kang, M.S., 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press. Boca Raton, FL. 30.
- Yan, W., Hunt, Sheng, A.Q., Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*. 40, 597-605.
- Zobel, R.W., Wright, M.J., Gauch, H.G., 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 80, 388-393.