دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان با استفاده از روش GGE بای‌پلات

امیر قلی‌زاده[۱]، مهدی غفاری[۲]، حمید جباری[۳]، مراد چشمه نور[۴]، فتح الله نادعلی[۵]، کمال پیغام‌زاده[۱]، فرناز شریعتی[۳] و شهریار کیا[۱]

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۲- دانشیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(نویسنده مسوول: mghaffari69@gmail.com)
۳- استادیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- محقق، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران
۵- محقق، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴
صفحه: ۱۹۴ تا ۲۰۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در جهان محسوب می‌شود که روغن آن ارزش غذایی و اقتصادی بالایی دارد. شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول با خصوصیات مطلوب در این گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط محیطی مختلف، می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. بنابراین هدف از این مطالعه، انتخاب بهترین هیبریدهای آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تعداد ۲۴ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه رقم گلسا در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، بروجرد، شاهرود و گرگان) در قالب طرح لاتیس ساده (۵×۵) با دو تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند. از روش آماری GGE بای‌پلات با مدل اثر ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از اینرو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم GGE بای‌پلات، ۶۷/۷ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس نمایش چندضلعی بای‌پلات، ژنوتیپ G13 در محیط شاهرود، ژنوتیپ G6 در محیط‌های کرج و بروجرد و ژنوتیپ‌های G5 و G19 در محیط گرگان، ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، ژنوتیپ‌های G6، G14، G3 و G4 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشتند. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط بروجرد نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، ژنوتیپ‌های G6، G14، G3 و G4 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و می‌توان از آن‌ها برای انجام آزمایشات بیشتر از جمله آزمایشات سازگاری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، آفتابگردان، پایداری، ژنوتیپ ایده‌آل، عملکرد دانه

مقدمه

آفتابگردان زراعی با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یکساله از خانواده Asteraceae است که پراکنش اولیه آن آمریکای مرکزی گزارش شده است (۱). آفتابگردان از نظر سطح زیر کشت بعد از سویا، کلزا و بادام زمینی به عنوان چهارمین گیاه دانه روغنی در سراسر جهان مطرح است. روغن آفتابگردان به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (۴). با توجه به این ویژگی‌های مهم، تولید آفتابگردان در کشور باید افزایش داشته باشد. به دلیل وجود محصولات رقیب و محدودیت زمین‌های زراعی، یکی از راه حل‌های مؤثر در افزایش تولید آفتابگردان، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ژنوتیپ‌های پرمحصول خواهد بود. بنابراین به‌نژادی و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهمکنش آن‌ها قرار می‌گیرد. شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محیطی مختلف دارای عملکرد مطلوب و پایداری باشند، به دلیل برهمکنش شدید ژنوتیپ × محیط، امر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد (۳۹). در برنامه‌های به‌نژادی به طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (۱۰).

روش‌های مختلفی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بکار برده شده است که شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره می‌باشند. در این میان، روش‌های آماری چندمتغیره، اطلاعات جامع‌تر و بیشتری را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران گیاهی قرار می‌دهند (۱۳،۲۰،۲۱،۴۱). از میان روش‌های چندمتغیره، روش GGE بای‌پلات یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. روش GGE بای‌پلات با استفاده از روش‌های چند متغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را آسان می‌کند (۲). این روش برخلاف سایر

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]

روش‌ها، به طور همزمان اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را مورد استفاده قرار می‌هد. در تحقیقات گوناگون گزارش شده است که در بیشتر آزمایش‌های چندمحیطی اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی که تغییرات توجیه شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر می‌باشند، اندک است. از آنجایی که محیط یک عامل غیرقابل کنترل می‌باشد، از اینرو در روش GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (۳۶،۳۷). در روش گرافیکی GGE بای‌پلات، علاوه بر تعیین ژنوتیپ‌های پایدار، امکان بررسی روابط میان محیطها و شناسایی محیطهای هدف در برنامه‌های به‌نژادی وجود دارد (۳۸).

از روش GGE بای‌پلات در پنبه (۵)، عدس (۲۶)، سورگوم (۲۵)، گلرنگ (۱۸)، فستوکا (۹)، ذرت (۲۳)، چغندرقند (۱۵)، سویا (۸)، گندم نان (۱۴)، جو (۳۴)، آفتابگردان (۴،۱۶،۲۸) و کلزا (۳) برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیطها در آزمایش‌های چندمحیطی استفاده شده است. هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیطها، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا در آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۲۴ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه رقم گلسا در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرج، بروجرد، شاهرود و گرگان در قالب طرح لاتیس ساده (۵×۵) با دو تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹ ارزیابی شدند. نام و مبداء ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ بیان شده است. مشخصات فنی و زراعی چهار آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) در زمان مقتضی انجام شد و بر اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل ۳ خط کاشت به طول ۳ متر در نظر گرفته شد. کشت به صورت دستی و با قرار دادن ۳ عدد بذر در هر کپه و به فواصل ۲۵ سانتی‌متر از هم انجام گردید. یک روز بعد از کشت، آبیاری اول انجام و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه صورت گرفت. تنک کردن بوته‌ها بعد از سبز شدن و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله انجام گرفت. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه از خط میانی هر کرت استفاده شد، به طوریکه ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خط کشت جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف گردید. در ادامه تمام بوته‌های کرت برداشت شد و پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرمنکوبی شدند و دانه‌های به دست آمده با ترازوی دقیق توزین گردید و پس از تبدیل، به عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف–اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۳۲) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیطها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (۳۵) انجام گردید. به منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم و به نرم‌افزار GGE بای پلات معرفی گردید. رسم نمودارهای بای‌پلات براساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش براساس رابطه زیر است.

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + e_{ij}$$

در رابطه فوق y_{ij}، ارزش میانگین ژنوتیپ iام برای محیط jام، μ، میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j، اثر اصلی محیط jام، g_{i1} و e_{1j} به ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ iام و محیط jام، g_{i2} و e_{2j} به ترتیب مقادیر ثانویه برای برای ژنوتیپ iام و محیط jام و e_{ij}، باقی‌مانده‌ای است که به وسیله آثار اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. در واقع یک بای‌پلات GGE از طریق رسم g_{i1} در مقابل g_{i2} و e_{1j} در مقابل e_{2j} یک نمودار پراکنش ایجاد می‌کند (۳۵).

جدول ۱- شماره، نام و شجره ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی
Table 1. Code, name and pedigree of the tested sunflower genotypes

شماره	نام/شجره	شماره	نام/شجره
G۱	RGK15×AGK32	G۱۴	RGK24×AGK2
G۲	RGK15×AGK2	G۱۵	R60×AF196
G۳	RGK15×AGK222	G۱۶	RO54×AO67
G۴	RGK24×AGK58	G۱۷	RO54×AO60
G۵	RGK3×AGK110	G۱۸	RO53×AO67
G۶	RF81-65×AGK38	G۱۹	RO53×AO35
G۷	RF81-65×AGK110	G۲۰	RO53×AO36
G۸	RF81-65×AGK222	G۲۱	RO53×AO42
G۹	RF81-65×AGK370	G۲۲	RGK15×AO67
G۱۰	RGK60×AGK358	G۲۳	RN1-73×AO42
G۱۱	RGK131×AGK370	G۲۴	RO54×AO36
G۱۲	RN1-73×AGK110	G۲۵	گلسا (شاهد)
G۱۳	RN1-73×AF81-222		

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق
Table 2. Agro-climatic characteristics of the environments studied in this research

مکان	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)
کرج	۵۰° ۵۴´	۳۵° ۵۶´	۱۳۱۲	۳۰۰
بروجرد	۴۸° ۷۶´	۳۳° ۸۹´	۱۵۲۰	۴۱۵
شاهرود	۵۴° ۵۸´	۳۶° ۲۵´	۱۳۸۰	۱۵۶
گرگان	۵۴° ۲۵´	۳۶° ۵۴´	۵	۴۰۰

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به این که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک) را دارا بوده، بنابراین معنی‌دار شدن اثر محیط دور از انتظار نیست. جوکوویچ و همکارن (۱۹) نیز معنی دار شدن اثر محیط را در آفتابگردان گزارش کردند. اثر معنی‌دار ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به عبارت دیگر عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (۱۱،۱۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف
Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of sunflower genotypes in different environments.

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
محیط	۳	۳۸۲۸۶۷۳۸	۱۲۷۶۲۲۴۶**
تکرار درون محیط	۴	۳۱۲۰۵۹۶	۷۸۰۱۴۹
ژنوتیپ	۲۴	۱۸۱۸۶۵۳۰	۷۵۷۷۷۲**
ژنوتیپ × محیط	۷۲	۳۰۶۲۳۳۰۴	۴۲۵۳۲۴**
خطا	۹۶	۸۰۷۶۵۶۸	۸۴۱۳۱
کل	۱۹۹	۹۸۲۹۳۷۳۷	

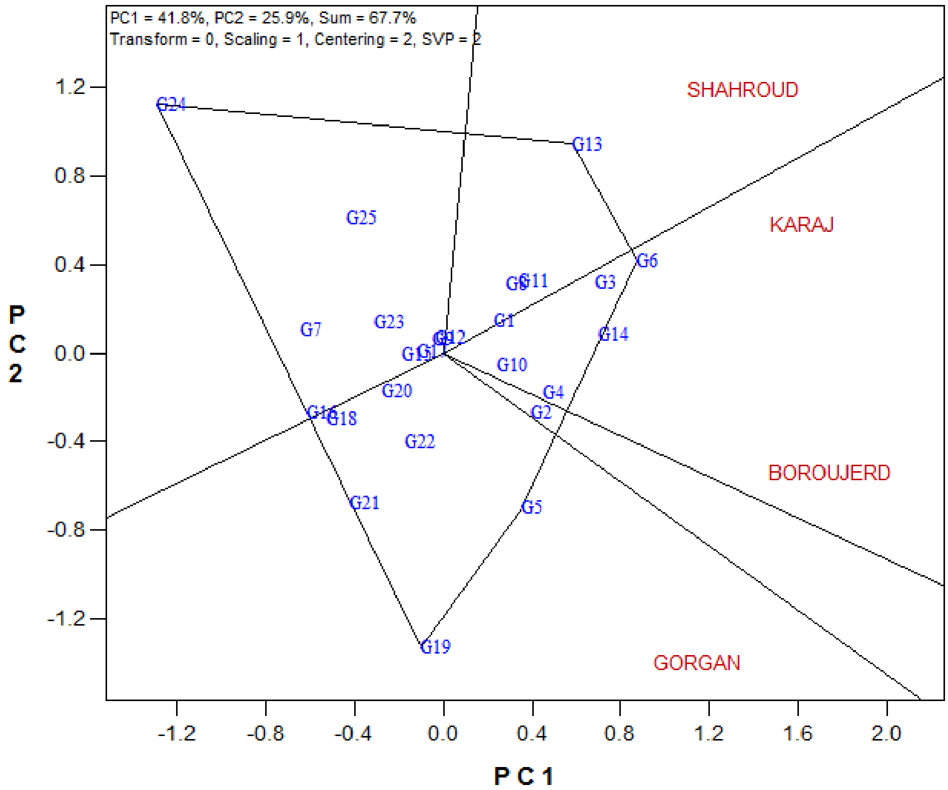
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۱/۸ و ۲۵/۹ و در مجموع ۶۷/۷ درصد از تغییرات مربوط به ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که نشان‌دهنده اعتبار بای‌پلات بدست آمده در این بررسی در توجیه تغییرات G+GE می‌باشد (شکل ۱). یکی از موارد استفاده از GGE بای‌پلات، رسم نمودار چندضلعی (Polygon) می‌باشد. برای رسم این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که از مبدأ مختصات نمودار بای‌پلات دور بودند، در راس چندضلعی و ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار گرفتند و سپس خط‌هایی از مبدأ نمودار بای‌پلات عمود بر اضلاع چندضلعی رسم شد. این خطها نمودار بای‌پلات را به چند قسمت تقسیم کرد. در درون هر قسمت (محیط کلان)، ژنوتیپی که در رأس چندضلعی قرار گرفت، نسبت به همه ژنوتیپ‌هایی که در آن محیط قرار گرفتند، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالا با آن محیط بود (۳۶). ژنوتیپ‌هایی که در درون هر قسمت قرار گرفتند سازگاری خصوصی بالایی با آن محیط داشته و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی دارند. بنابراین، وجود واریانس کم درون محیط‌های بزرگ و واریانس زیاد بین آن‌ها، یکی از ویژگی‌های نمودارهای چندضلعی می‌باشد (۱۲). نمودار

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]

چندضلعی بای‌پلات برای ژنوتیپ‌های آفتابگردان نشان داد که هفت ژنوتیپ G24، G13، G6، G5 و G19 بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و در رأس‌های چندضلعی قرار گرفتند (شکل ۱). همچنین در این مطالعه سه محیط کلان مشخص گردید که محیط کلان اول شامل محیط شاهرود بود که ژنوتیپ G13 ژنوتیپ برتر این محیط بود. محیط کلان دوم شامل دو محیط کرج و بروجرد بود که ژنوتیپ G6 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. در محیط کلان سوم نیز محیط گرگان قرار گرفت که ژنوتیپ‌های G5 و G19 ژنوتیپ‌های برتر این محیط کلان بودند. ژنوتیپ G24 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بود و ژنوتیپ G25 (شاهد)، در هیچ کدام از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که بیانگر عدم برتری تولید عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها در کلیه محیطها بود (شکل ۱). در محیط کلان دوم ژنوتیپ‌های G14، G3 و G4 علاوه بر ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی (ژنوتیپ G6) وجود داشتند. این ژنوتیپ‌ها نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیطهای قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی داشتند. از نمودار چندضلعی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و نیز مشخص نمودن محیطهای کلان توسط سایر محققان نیز استفاده شده است (۶،۷،۲۶،۳۳).

محیطهایی که در یک محیط کلان قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیطهای با حداقل اثر متقاطع در یک محیط کلان قرار می‌گیرند. در مقابل محیطهایی که در محیطهای کلان متفاوت قرار می‌گیرند دارای برهمکنش متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم هستند (۳۵). با توجه به نتایج گروه‌بندی محیطها، می‌توان نتیجه گرفت که هردو نوع اثر متقابل (متقاطع و غیرمتقاطع) در آزمایش‌های چندمحیطی آفتابگردان وجود دارد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت.



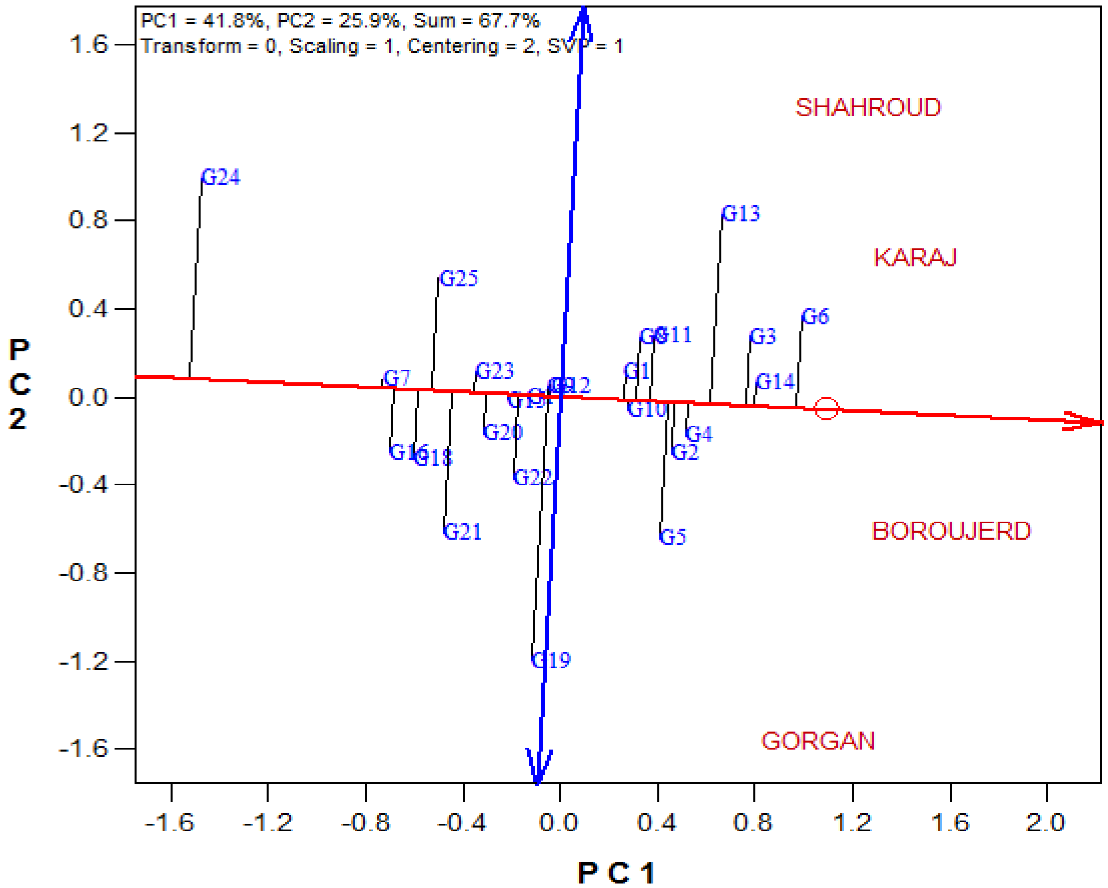
شکل ۱- نمایش چندضلعی بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیطها در آفتابگردان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم
Figure 1. Biplot polygon view for grouping the genotypes and environments in sunflower; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به طور همزمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت. در پژوهش صارمی راد و همکاران (۲۸) نیز هر دو نوع اثر متقابل در آفتابگردان گزارش شده است.

در این پژوهش از نمودار مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate; AEC) به منظور بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد (شکل ۲). به این نمودار بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز گفته می‌شود (۳۷). این نمودار دارای دو محور افقی و

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]

عمودی است. ژنوتیپ‌ها در طول محور افقی AEC (محوری که با دایره و پیکانه مشخص شده است) بر اساس عملکرد رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده میانگین عملکرد بالاتر است. همچنین محور افقی AEC بیانگر پایداری می‌باشد و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد، پایدارتر است (۳۶). محور عمودی AEC که دارای دو پیکانه است که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و بر محور افقی AEC عمود است، بیانگر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به طوریکه ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور عمودی AEC قرار گرفته‌اند، دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این محور قرار گرفته‌اند، عملکردی کمتر از میانگین عملکرد کل را دارا می‌باشند. نتایج بای‌پلات مختصات محیط نشان داد که ژنوتیپ‌های G6، G14، G3، G13، G4، G2، G5، G11، G8، G10 و G1 به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند و ژنوتیپ‌های G24، G7، G16، G18، G25 (شاهد)، G21، G23 و G20 به ترتیب با قرار گرفتن در انتهای سمت چپ محور افقی AEC کمترین مقدار عملکرد دانه را دارا بودند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های G6، G14، G3، G4، G2، G11، G8، G10 و G1 که با فاصله کمتری از محور افقی AEC قرار گرفته‌اند، دارای پایداری بالایی بودند که میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود. ژنوتیپ‌های G13 و G5 با وجود اینکه دارای عملکرد دانه بالایی بودند ولی به دلیل داشتن فاصله زیاد از محور افقی AEC از پایداری کمتری برخوردار بودند (شکل ۲). از نمودار مختصات محیط متوسطAEC به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در ذرت (۳۰)، نخود (۲۹) و گندم نان (۱۷) نیز استفاده شده است.

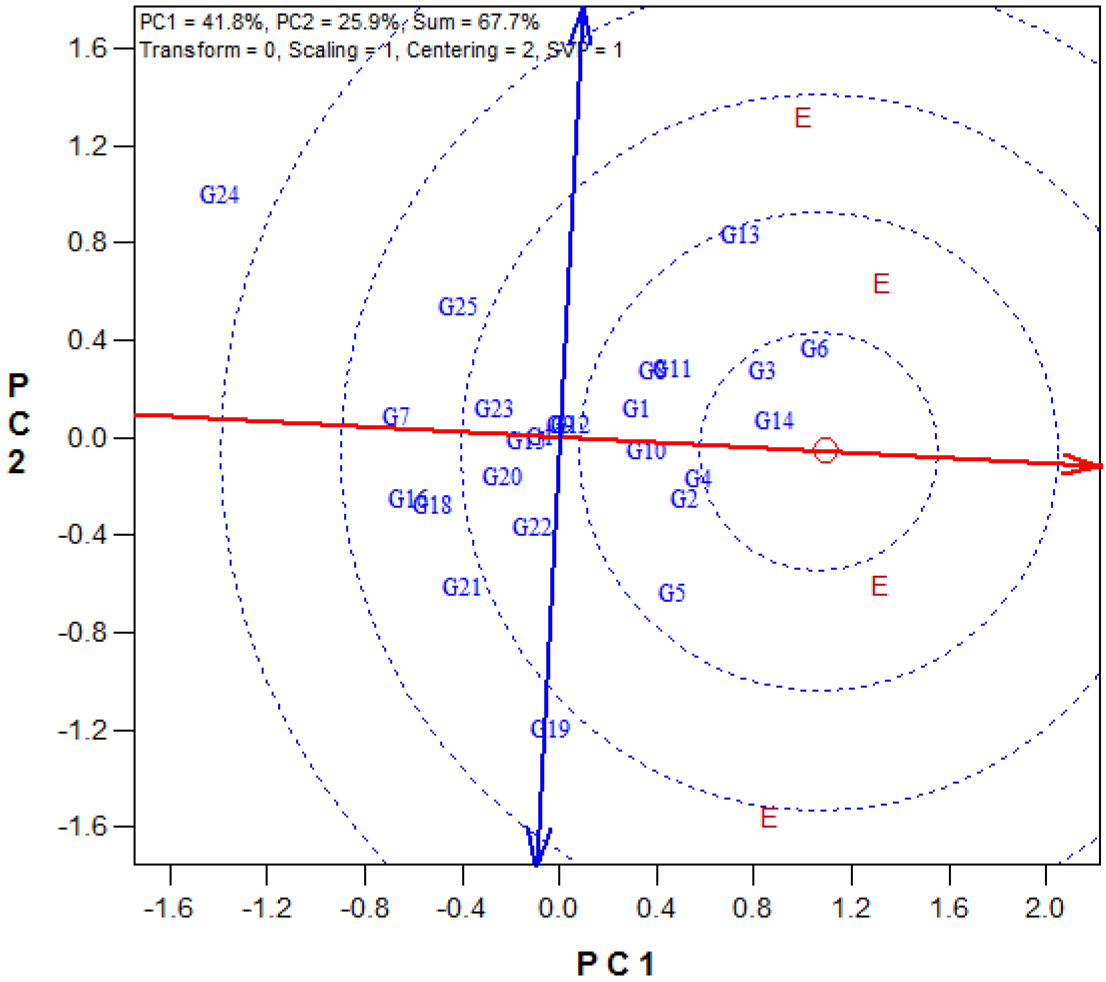


شکل ۲- نمایش بای‌پلات برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ‌های آفتابگردان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

Figure 2. Biplot view for simultaneous selection of yield and stability in the sunflower; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

کاربرد دیگر روش GGE بای‌پلات، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل است (شکل ۳). نمودار ژنوتیپ ایده‌آل، براساس تعیین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی رسم می‌شود که ژنوتیپی است که از نظر مکانی به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد و دارای بیشترین عملکرد و پایداری می‌باشد (۳۵). چنین ژنوتیپی واجد حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با

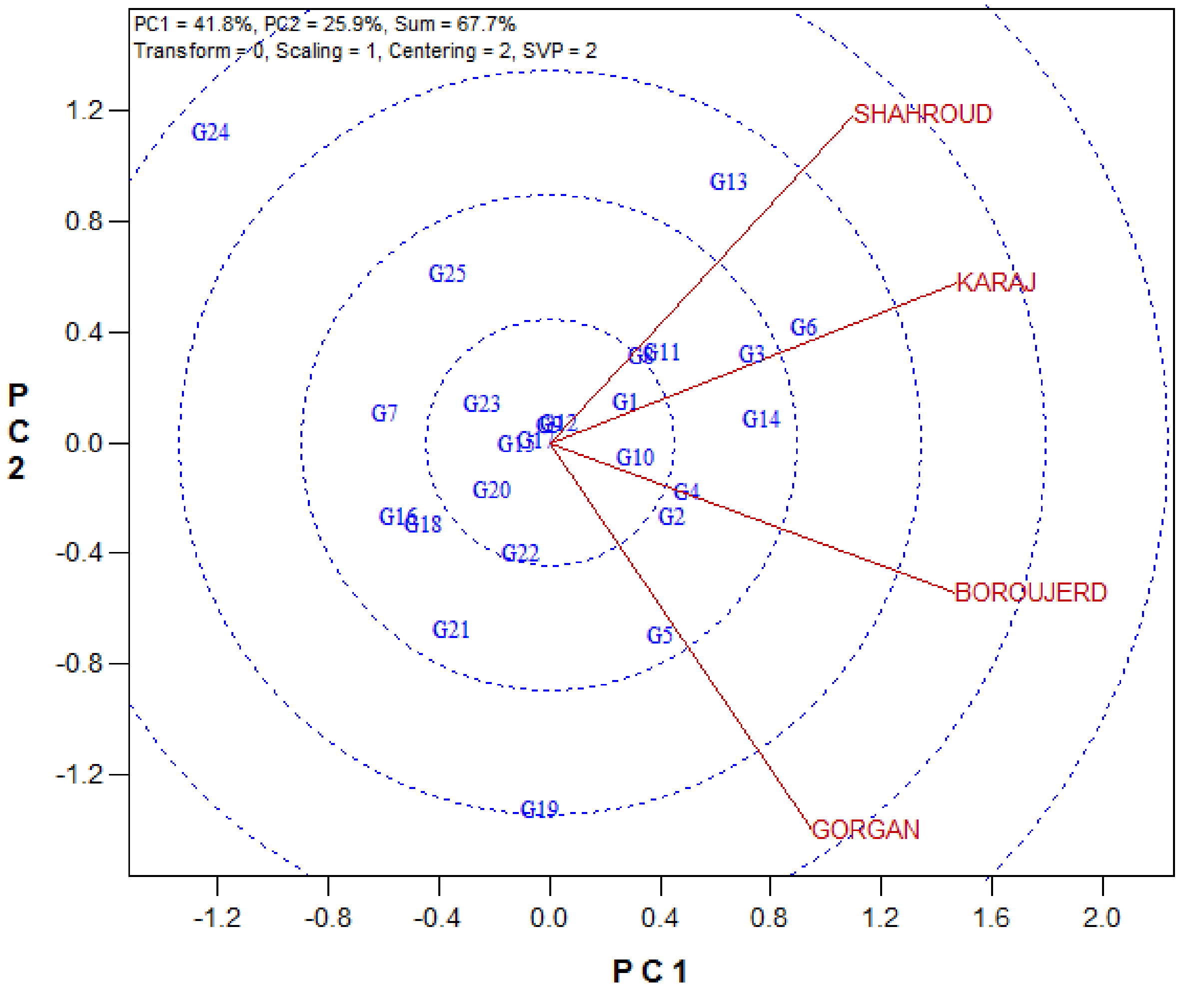
عملکرد بالا می‌باشد. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی بر مبنای میانگین عملکرد و پایداری است. ژنوتیپی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل دارد، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار محسوب می‌شود. در شکل ۳، ژنوتیپ‌های G6، G14، G3 و G4 به ترتیب کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارند و بنابراین به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه شناسایی شدند. مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای محصولات زراعی مختلف مثل ذرت دانه‌ای (۳۱)، ارزن (۲۷) و گندم نان (۱۷) گزارش شده است.



شکل ۳- نمایش بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در آفتابگردان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

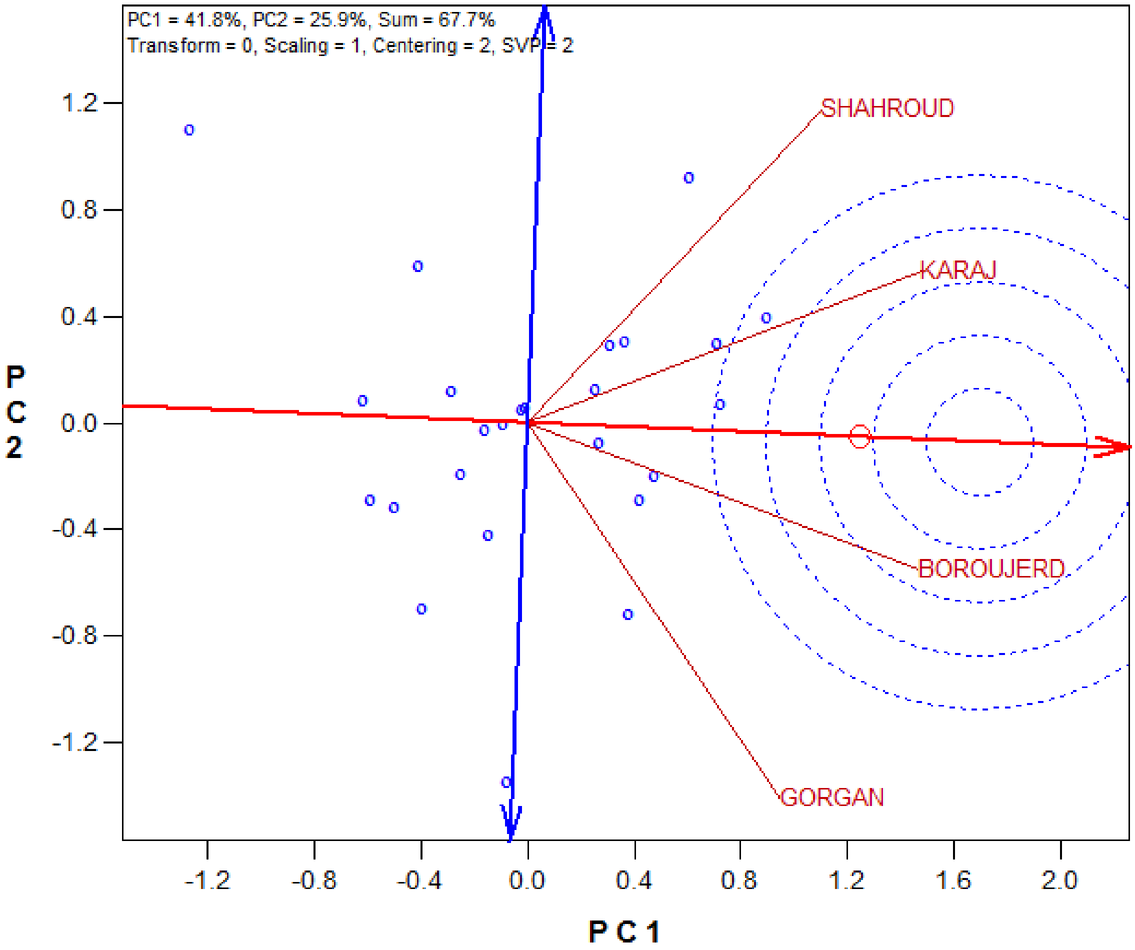
Figure 3. Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype in sunflower; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

از روش GGE بای‌پلات برای پی بردن به رابطه بین محیط‌های مورد مطالعه نیز می‌توان استفاده کرد که در آن محیط‌ها از طریق خطهایی به اسم بردار به مبدأ بای‌پلات وصل می‌شوند (شکل ۴). در نمودار بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. هر اندازه زاویه بین دو بردار محیط کوچک (کمتر از ۹۰ درجه) باشد به معنای همبستگی مثبت و بالا بین آن‌ها است. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۱۸۰ درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها ۱- و اگر ۹۰ درجه باشد همبستگی صفر خواهد بود (۳۵). بررسی همبستگی بین محیط‌ها نشان داد (شکل ۴) که زاویه بین بردارهای محیطی شاهرود، کرج و بروجرد کوچک بود. لذا بیشترین همبستگی مثبت بین بردارهای دو محیط شاهرود و کرج بود. این امر نشان دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این دو محیط بود. بنابراین با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و هوایی این مناطق طی چند سال روی عملکرد آفتابگردان تأثیری نداشته و پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش هزینه‌ها و کارایی بیشتر برنامه‌های به‌نژادی در این ایستگاه‌ها، آزمایش‌های بررسی ژنوتیپ‌های آفتابگردان را با تعداد سال کمتری انجام داد. همچنین زاویه بین بردارهای محیط‌های شاهرود و گرگان بالاتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر همبستگی منفی بین این دو محیط بود.



شکل ۴- نمایش بای‌پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه در آفتابگردان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم
Figure 4. Biplot view for displaying the relationships among the studied environments in sunflower; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم نمودار بای‌پلات محیط‌ها، میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط کلان است. محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل فرضی رتبه‌بندی می‌کنند. محیط ایده‌آل فرضی محیطی است که دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز باشد و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم مرکز بای‌پلات قرار دارد (۳۵). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (محور افقی) شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری یک محیط است. هر چقدر این زاویه کوچکتر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط مورد نظر نماینده بهتری از محیط کلان هدف خواهد بود. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، ممکن است اطلاعات گمراه‌کننده‌ای درباره ژنوتیپ‌های مورد آزمایش ارائه دهند. بنابراین، یک محیط ایده‌آل محیطی است که می‌تواند به عنوان نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها می‌باشد (۱۷). در این پژوهش محیط بروجرد و سپس محیط کرج نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل فرضی بودند (شکل ۵) و به عنوان محیط‌های مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر آفابگردان معرفی می‌شوند. از نمودار بای‌پلات محیط‌ها به منظور ارزیابی قدرت تمایز و بیانگری محیط‌ها در کلزا (۲۴)، باقلا (۴۰)، گندم نان (۱۷) و گندم دوروم (۲۲) نیز استفاده شده است.



شکل ۵- نمایش بای‌پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در آفتابگردان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم
Figure 5. Biplot view to compare the studied environments with the ideal environment in sunflower; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش گرافیکی GGE بای‌پلات، روشی با کارایی مناسب برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود و اطلاعات خوبی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در اختیار محققین قرار می‌دهد. روش GGE بای‌پلات با استفاده از تصاویر گرافیکی (نمودارهای دوبعدی)، ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد و تفسیر نتایج را برای محققان راحت‌تر می‌کند. انصاری‌فرد و همکاران (۴) برای ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه آفتابگردان با به کارگیری روش GGE بای‌پلات گزارش کردند که گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان بر اساس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات، رهیافتی مفید برای آزادسازی ارقام آفتابگردان با پتانسیل عملکرد بالا و پایدار برای محیط‌های هدف است. در پژوهشی دیگری امیری اوغان (۳) به منظور ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزای بهاره تحت شرایط محیطی مختلف از روش GGE بای‌پلات استفاده کرده و گزارش کردند که دو مولفه اول و دوم GGE بای‌پلات ۶۳/۳۴ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند و با استفاده از این روش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند (۳).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش، ژنوتیپ G13 در محیط شاهرود، ژنوتیپ G6 در محیط‌های کرج و بروجرد و ژنوتیپ‌های G5 و G19 در محیط گرگان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر و دارای سازگاری خصوصی بالا به این محیط‌ها بودند. براساس بای‌پلات ژنوتیپ ایدهآل فرضی نیز ژنوتیپ‌های G6، G14، G3 و G4 از نظر هر دو عامل میانگین عملکرد و پایداری، بهتر از ژنوتیپ شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در محیط‌های مورد مطالعه داشتند. نمایش برداری همبستگی بین محیط‌ها نیز نشان داد که بیشترین همبستگی بین بردارهای محیط‌های شاهرود و کرج مشاهده شد. همچنین براساس نتایج نمودار بای‌پلات محیط ایدهآل، محیط‌های بروجرد و کرج بیشترین تمایز و بیانگری را نشان دادند و برای انجام بررسی‌های مقایسه ژنوتیپ‌های آفتابگردان به عنوان مناسب‌ترین محیط‌ها تشخیص داده شدند.

منابع

1. Ahmadpour, S., R. Darvishzadeh, O. Sofalian and H. Hatamzadeh. 2019. Evaluation of Yield Stability of Sunflower Inbred Lines under Salt Stress Conditions. Journal of Crop Breeding, 11: 1-10 (In Persian).
2. Allahgholipour, M. 2016. Genotype × environment interaction effect in rice genotypes using GGE Biplot. Cereal Research, 6: 1-14 (In Persian).
3. Amiri Oghan, H., V. Rameeh, A. Faraji, H.R. Fanaei, N.K. Kazerani and S. Rahmanpour. 2020. Evaluation of Seed Yield Stability of Spring Rapeseed Genotypes Using GGE Biplot Analysis. Seed and Plant Improvement Journal, 36: 207-222 (In Persian).
4. Ansarifard, I., K. Mostafavi, M. Khosroshahli, M.R. Bihamta and H. Ramshini. 2020. A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). Food Science & Nutrition, 8: 3327-3334.
5. Blanche, S.B. and G.O. Myers. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. Crop Science, 46: 946-949.
6. Changizi, M., R. Choukan, E.M. Heravan, M.R. Bihamta and F. Darvish. 2014. Evaluation of genotype × environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. Canadian Journal of Plant Science, 94: 1255-1267.
7. Choukan, R. 2011. Genotype, environment and genotype × environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. Crop Breeding Journal, 1: 97-103 (In Persian).
8. Dalló, S.C., A.D. Zdziarski, L.G. Woyann, A.S. Milioli, R. Zanella, J. Conte and G. Benin. 2019. Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-e nvironment trials. Euphytica, 215: 1-12.
9. Dehghani, M., M. Majidi, G. Saeidi, A. Mirlohi, R. Amiri and B. Sorkhilalehloo. 2015. Application of GGE biplot to analyse stability of Iranian tall fescue (*Lolium arundinaceum*) genotypes. Crop and Pasture Science, 66: 963-972.
10. Eberhart, S.T. and W. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. Crop Science, 6: 36-40.
11. Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitive genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
12. Gauch, H. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science, 37: 311-326.
13. Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science, 46: 1488-1500.
14. Gerrish, B.J., A.M. Ibrahim, J.C. Rudd, C. Neely and N.K. Subramanian. 2019. Identifying mega-environments for hard red winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Texas. Euphytica, 215: 1-9.
15. Hassani, M., B. Heidari, A. Dadkhodaie and P. Stevanato. 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Euphytica, 214: 1-21.
16. Hemmati, I., S.S. Pourdad and R. Choukan. 2018. Studying the genotype × environment interaction under different conditions of moisture stress using graphical GGE biplot analysis in synthetic varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 11: 471-480 (In Persian).
17. Jafari, T. and E. Farshadfar. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. Cereal Research, 8: 199-208 (In Persian).
18. Jamshidmoghaddam, M. and S.S. Pourdad. 2013. Genotype × environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. Euphytica, 190: 357-369.
19. Jockovic, M., S. Cvejic, S. Jocic, A. Marjanovic-Jeromela, D. Miladinovic, B. Jockovic, V. Miklic and V. Radic. 2019. Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). Turkish Journal of Field Crops, 24: 202-210.
20. Mahdavi, A.M., N. Babaeian Jelodar, E. Farshadfar and N. Bagheri. 2020. Evaluation of stability and adaption of bread wheat genotypes using univariate statistics parameters and AMMI. Plant Genetic Researches, 7: 19-32 (In Persian).
21. Moreno-Gonzalez, J., J. Crossa and P. Cornelius. 2004. Genotype × environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica, 137: 119-127.
22. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. Journal of Crop Breeding, 10: 1-12 (In Persian).
23. Netshifhefhe, N., B. Flett, A. Viljoen and L. Rose. 2018. Inheritance and genotype by environment analyses of resistance to Fusarium verticillioides and fumonisin contamination in maize F1 hybrids. Euphytica, 214: 1-20.

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]

24. Pourdad, S.S. and M. Jamshidi Mohjadam. 2013. Study on genotype × environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding, 5: 1-13 (In Persian).
25. Rakshit, S., K. Ganapathy, S. Gomashe, A. Rathore, R. Ghorade, M.N. Kumar, K. Ganesmurthy, S. Jain, M. Kamtar and J. Sachan. 2012. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. Euphytica, 185: 465-479.
26. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. Agronomy Journal, 100: 760-764.
27. Saleem, R., M. Ashraf, I.A. Khalil, M.A. Anees, H.I. Javed and A. Saleem. 2016. GGE Biplot: stability a windows based graphical analysis of yield stability and adaptability of millet cultivars across Pakistan. Academia Journal of Biotechnology, 4(5): 186-193.
28. Saremi-Rad, A., K. Mostafavi and A. Mohammadi. 2020. Genotype-Environment Interaction Study Base GGE biplot Method for Kernel Yield in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars. Journal of Crop Breeding, 12: 43-53 (In Persian).
29. Segherloo, A.E., S. Sabaghpour, H. Dehghani and M. Kamrani. 2010. Screening of superior chickpea genotypes for various environments of Iran using genotype plus genotype × environment (GGE) biplot analysis. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 2: 286-292.
30. Setimela, P., B. Vivek, M. Bänziger, J. Crossa and F. Maideni. 2007. Evaluation of early to medium maturing open pollinated maize varieties in SADC region using GGE biplot based on the SREG model. Field Crops Research, 103: 161-169.
31. Shiri, M.R. and T. Bahrampour. 2015. Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Research, 5: 83-94 (In Persian).
32. SPSS, Inc. 2010. SPSS 20. Users Guied. Chicago, USA.
33. Temesgen, M., S. Alamerew and F. Eticha. 2015. GGE biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in south east Ethiopia. World Journal of Agricultural Sciences, 11: 183-190.
34. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, E. Koohkan, S. Ghasemi, H. Moradkhani and K.H. Siddique. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. Euphytica, 215: 1-18.
35. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
36. Yan, W., L. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597-605.
37. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science, 47: 643-655.
38. Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa and L. Hunt. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. Crop Science, 41: 656-663.
39. Yau, S., G. Ortiz-Ferrara and J. Srivastava. 1991. Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. Crop Science, 31: 571-576.
40. Zeleke, A. and F. Berhanu. 2016. AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. Journal of Biology Agricuiture and Helathcare, 6: 127-135.
41. Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal, 80: 388-393.

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]

Evaluation of Genotype × Environment Interaction for Seed Yield of Sunflower Hybrids using GGE Biplot Method

Amir Gholizadeh[1], Mehdi Ghaffari[2], Hamid Jabbari[3], Morad Cheshmehnoor[4], Fathollah Nadali[5], Kamal Payghamzadeh[1], Farnaz Shariati[3] and Shahriar Kia[1]

1- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
2- Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Corresponding author: mghaffari69@gmail.com)
3- Assistant Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khoramabad, Iran
5- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahroud, Iran
Received: 7 September, 2021 Accepted: 6 October, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: The sunflower is one of the most important oilseed plants in the world and its oil has nutritional and high economic value. Identification and selection of high-yielding genotypes with desirable characteristics are especially important in this plant. Evaluating sunflower genotypes under different environmental conditions would be useful to identify genotypes with high stability and yield potential. Therefore, this study was conducted to the selection of the best sunflower hybrids.

Material and Methods: In this study, 24 new sunflower hybrids along with Golsa cultivar were evaluated in a simple lattice design with two replications in four experimental field stations (Karaj, Boroujerd, Shahroud, and Gorgan) during the 2020 cropping season. GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype × environment interaction) was used to study the stability of genotypes in the studied environments.

Results: Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes, and genotype × environment interaction were significant, suggesting that the genotypes responded differently in the studied environment conditions. So, there was the possibility of stability analysis. Results of stability analysis using the GGE biplot method indicated that the two first and second principal components of the GGE biplot explained 67.7% of the total seed yield variation. Based on the polygon view of biplot, the genotype G13 in shahroud environment, the genotype G6 in Karaj and boroujerd environments, and genotypes G5 and G19 in Gorgan environment were superior genotypes with the high specific adaptation. Based on the hypothetical ideal genotype biplot, the genotypes G6, G14, G3, and G4 were better than the other genotypes for seed yield and stability and had the high general adaptation to all environments. Also, the results showed that all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes. The Boroujerd environment was the nearest environment to the ideal environment that had the highest discriminating ability and representativeness.

Conclusion: Consequently, the genotypes G6, G14, G3, and G4 were better than the other genotypes for seed yield and stability. Therefore, these genotypes can be used for further testing, including adaptation tests.

Keywords: Genotype × environment interaction, Ideal genotype, Sunflower, Stability, Seed yield

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.194]