دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به روش بای‌پلات (GGE biplot) برای عملکرد دانه در برخی از ژنوتیپ‌های آفتابگردان

علی صارمی راد[۱]، خداداد مصطفوی[۲] و عبداله محمدی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: mostafavi@kiau.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

تاریخ ارسال: ۹۷/۰۸/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۷
صفحه: ۴۳ تا ۵۳

چکیده

شناخت دقیق ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، امکان شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار را برای به‌نژادگران فراهم می‌آورد. جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان در ۵ منطقه شامل اراک، بیرجند، کاشمر، کرج و شیراز در سال زراعی ۱۳۹٤ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت و ارزیابی شدند. به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد دانه از روش گرافیکی GGE biplot استفاده شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های Record و Zaria در کرج، ژنوتیپ‌های SHF81-90 و Sor در بیرجند و کاشمر، ژنوتیپ Gabur در شیراز و Armaverski در اراک دارای بیش‌ترین پایداری و عملکرد دانه بودند. رتبه‌بندی محیط‌ها از بهترین محیط به سمت نامناسب‌ترین محیط به‌صورت بیرجند، کاشمر، کرج، اراک و شیراز بود. نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و همچنین نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری، نشان داد که ژنوتیپ‌های SHF81-90، Lakomka و Sor به‌عنوان برترین و پایدارترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. نتایج نمودار بای‌پلات بررسی روابط بین محیط‌ها حاکی از همبستگی بالا بین محیط‌های کرج، کاشمر و بیرجند بود. در این مطالعه مناطق مورد بررسی به چهار محیط بزرگ (ابر محیط) به‌شرح زیر تقسیم شدند: کرج به‌عنوان اولین محیط بزرگ، کاشمر و بیرجند به‌عنوان دومین محیط بزرگ، شیراز به‌عنوان سومین محیط بزرگ و اراک به‌عنوان چهارمین محیط بزرگ.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، پایداری، محیط بزرگ، ژنوتیپ ایده‌آل

مقدمه

پس از غلات، دانه‌های روغنی از حیث تأمین انرژی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند. یکی از دانه‌های روغنی، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) است که به‌دلیل وجود اسیدهای چرب مفید و مؤثر در زمره بهترین روغن‌ها جهت تغذیه انسان قرار دارد. از روغن آفتابگردان علاوه‌بر تغذیه انسان در صنایع آرایشی و بهداشتی و از کنجاله آن نیز در تعلیف دام استفاده می‌شود (۱۲).

پایداری به تولید ثابت محصول (عملکرد ثابت) در مکان‌ها و سال‌های مختلف اطلاق می‌شود (۹). هدف اصلی مراکز بین‌المللی اصلاح نباتات، به‌دست‌آوردن ارقام با سازگاری وسیع، عملکرد بالا، کیفیت مطلوب، ژنوتیپ‌های پایدار و مقاوم به تنش‌های محیطی شامل خشکی، گرما، حشرات، بیماری‌ها و غیره می‌باشد. ارقام برتر به‌منظور استفاده در برنامه‌های اصلاحی و توزیع در میان کشاورزان ایجاد می‌گردند (۲۵). در برنامه‌های به‌نژادی، ژنوتیپ‌ها باید در یک دامنه وسیعی از تغییرات محیطی در سال‌ها و مکان‌های متفاوت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند تا اطلاعات حاصل از تخمین سازگاری و ثبات عملکرد ژنوتیپ‌ها معیار مطمئنی در توصیه ژنوتیپ‌ها ارائه داده و کارایی گزینش و معرفی ارقام را فراهم نمایند (۱۶، ۲۲). ثبات و پایداری هر ژنوتیپ در ابعاد زمانی و مکانی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. بیش‌تر صفات اقتصادی که دارای اهمیت زیادی می‌باشند از لحاظ ژنتیکی به‌صورت چندژنی کنترل شده و از پایداری پائینی برخوردار هستند (۱). یکی از مهم‌ترین موضوعات جهت مطالعه و ارزیابی پایداری ارقام اصلاح‌شده در علم به‌نژادی، موضوع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌باشد (۴). وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط پایداری ژنوتیپ‌ها را می‌کاهد و سبب کاهش بازده ارقام در برخی از محیط‌ها می‌شود (۲۳) و همچنین سبب بروز تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بین تظاهر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌گردد که این موضوع باعث کاهش ارتباط بین تظاهر فنوتیپی و مقادیر ژنوتیپی می‌شود (۶). عوامل دخیل در اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به دو دسته عوامل قابل پیش‌بینی و عوامل غیرقابل پیش‌بینی تقسیم می‌شوند که عوامل قابل پیش‌بینی شامل آن دسته از عواملی است که به‌طور منظّم اتفاق می‌افتد و یا به‌وسیله انسان کنترل می‌شود مانند نوع خاک، تاریخ کاشت، تراکم کاشت، سطوح مختلف کود و غیره و عوامل غیرقابل پیش‌بینی یعنی عواملی نظیر بارندگی و دما که تغییرات نامنظم دارند و خارج از کنترل می‌باشند. اثر متقابل بین عامل‌های قابل پیش‌بینی با ژنوتیپ را می‌توان به‌صورت مستقل و تنها و یا در مجموع مورد بررسی و ارزیابی قرار داد اما امکان مطالعه و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ با عامل‌های غیرقابل پیش‌بینی به‌راحتی میسّر نبوده و با دشواری همراه است (۲). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط سبب تفاوت‌های قابل ملاحظه بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌شود (۶) یکی از عوامل کندبودن روند اصلاح و معرفی ارقام در مناطق مختلف وجود این اثرهاست (۱۳). از نظر به‌نژادگران اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اگر باعث تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها نشود قابل چشم‌پوشی است ولی اگر این اثر متقابل به‌اندازه‌ای باشد که سبب تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف شود غیرقابل چشم‌پوشی بوده و باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (۲۴).

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

جهت برآورد پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها و شناخت دقیق ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط روش‌های متعددی به‌وسیله دانشمندان مختلف ارائه شده است که هرکدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد. تجزیه پایداری شامل روش‌های چندمتغیره و تک‌متغیره می‌باشد که روش تک‌متغیره خود شامل روش‌های پارامتری و ناپارامتری است. روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری به‌خوبی توانایی تفسیر ماهیت پیچیده و چندبعدی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را ندارند. ازاین‌رو، جهت رفع این مشکل از روش‌های چندمتغیره استفاده می‌شود (۱۹،۲۱). یکی از روش‌های چندمتغیره، روش گرافیکی GGE biplot است که بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد شده است (۳۵،۱۱). این روش به‌وسیله گابریل (۱۰) ارائه شد و سپس توسط کمپتون توسعه داده شد (۱۴). کاربرد وسیع و سودمند GGE biplot در بررسی اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط یان و همکاران (۳۴) نشان داده شده است. روش GGE biplot از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را بررسی کرده و همچنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به‌سادگی میسّر می‌سازد (۲۷، ۳۴). اصطلاح GGE مختصر شده G+GE می‌باشد. درواقع مفهوم GGE از اثرات اصلی ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط گرفته شده است (۳۲). از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی محصولات مختلف است. با استفاده از GGE بای‌پلات محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند (۱۷). ویژگی منحصربه‌فرد GGE بای‌پلات آن است که به استناد نمودارهای حاصل می‌توان نشان داد، کدام رقم در کدام محیط یا زیر گروه از پتانسیل بالاتری برخوردار است (۸).

برآورد پایداری ژنوتیپی و نیز تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط محققین مختلف گزارش شده است. به‌منظور تعیین پایداری و عکس‌العمل ژنوتیپ‌های آفتابگردان به محیط‌های مختلف مورد آزمایش، تعداد ۱۰ رقم آفتابگردان در ۶ منطقه کشور مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با استفاده از روش گرافیکی GGE biplot میانگین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و با توجه به این روش ژنوتیپ Lakumka بیش‌ترین عملکرد را داشت و ژنوتیپ Bulg3 ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داد. همچنین به کمک روش گرافیکی GGE biplot ژنوتیپ Lakumka به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل شناسایی شد. در این آزمایش دو محیط بزرگ شناسایی شد. به‌طورکلی نتایج روش GGE biplot در این تحقیق، نشان داد که استفاده از این روش اطلاعات جدیدی به‌دست می‌دهد که توسط سایر روش‌ها قابل شناسایی نیست و این روش توانایی زیادی در بررسی پایداری ارقام دارد (۱۲).

مصطفوی و همکاران در آزمایشی که بر روی ده رقم کلزا در چهار منطقه انجام دادند، ضمن اینکه توسط روش بای‌پلات بهترین ارقام را برای هر مکان مشخص نمودند، سه محیط بزرگ را نیز تشخیص دادند و نتیجه گرفتند که ارقام لیکورد و SLM046 به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین واکنش ژنوتیپی به مناطق را نشان دادند (۲۰).

محمدی و همکاران، در بررسی پایداری ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۹ محیط و طی ۴ سال نشان دادند که محیط‌ها در رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بودند. ژنوتیپ‌ها نیز از نظر پایداری، عملکرد و سازگاری به محیط‌ها متفاوت بودند. در این مطالعه سه ژنوتیپ دارای سازگاری عمومی بالا بودند (۱۸).

دهقانی و همکاران ۱۹ ژنوتیپ جو را در ۱۰ مکان مختلف ایران به‌مدت ۳ سال مورد ارزیابی قراردادند. آن‌ها با استفاده از روش GGE biplot مکان‌های مورد مطالعه را به ابر محیط (Mega- nvironment) تقسیم کردند و برای هر محیط یک ژنوتیپ برتر را انتخاب کردند (۵).

کندال (۱۵)، در پژوهشی بر روی چهار ژنوتیپ جو که در هشت مکان در کشور ترکیه انجام شده بود، با استفاده از روش بای‌پلات مشخص کرد که ۸ مکان به ۳ محیط بزرگ (Mega-emvironment) قابل تقسیم می‌باشد. دو ژنوتیپ از بین چهار ژنوتیپ دارای سازگاری عمومی مناسب بودند. دو ژنوتیپ دیگر نیز از سازگاری خصوصی مناسبی برای دو مکان از هشت مکان برخوردار بودند.

یان و همکاران (۳۶) روش AMMI با GGE biplot را مورد مقایسه قرار دادند، آن‌ها نشان دادند کارایی و دقت مدل GGE biplot بالاتر از مدل AMMI می‌باشد.

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و همچنین شناسایی محیط‌های مطلوب با استفاده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات مهم‌ترین اهداف این مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در پنج ایستگاه، در تاریخ مناسب کشت هر منطقه در سال زراعی ۱۳۹۴ مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. اسامی ژنوتیپ‌ها و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های اجرای آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق که در پاییز سال ۱۳۹۳، دیسک زنی، ایجاد ردیف‌های کاشت، ایجاد کرت و نیز ایجاد نهرها در اردیبهشت سال ۱۳۹۴ صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف کاشت چهار متری به فاصله شصت سانتی‌متر و با فاصله بوته بر روی هر ردیف بیست سانتی‌متری و نیز فاصله بلوک‌ها از هم دو متر در نظر گرفته شد. مقدار شش کیلوگرم بذر در هکتار (۶۲۵۰۰ بوته در هکتار) مورد استفاده قرار گرفت. در طول فصل رشد مراقبت‌های زراعی نظیر وجین و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد و هیچ‌گونه مبارزه‌ای بر علیه

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

بیماری‌های آفتابگردان مورد نیاز نبود. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود ازت مصرف شد. آبیاری و برداشت محصول مطابق نیاز گیاه و روش‌های معمول هر منطقه به‌صورت دستی انجام شد.

برای انجام آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش چنددامنه‌ای دانکن از نرم‌افزار SAS. 9 استفاده شد. با توجه به معنی‌دارشدن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE biplot بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه (۱) صورت پذیرفت:

$$Yij - \mu - \beta j = \lambda 1\, \xi i1\, \eta j1 + \lambda 2\, \xi i2\, \eta j2 + \varepsilon ij \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه Yij میانگین ژنوتیپ iام در محیط jام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، βj اثراصلی محیط jام، λ1 و λ مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξi1 و ξi2 بردارهای ویژه ژنوتیپی و ηj1 و ηj2 بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و εij مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ iام در محیط jام هستند (۱۱).

جهت تجزیه داده‌های آزمایش از نرم‌افزار Genstat بر مبنای شش الگوی: ۱. بررسی روابط بین محیط‌ها، ۲. تعیین بهترین رقم در هر مکان، ۳. میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها، ۴. رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل، ۵. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و ۶ تعیین محیط‌های بزرگ استفاده شد (۲۸).

جدول ۱- اسامی ارقام آفتابگردان مورد مطالعه در پژوهش و منشأ آن

Table 1. Names of sunflower cultivars studied in the research

ردیف	نام ژنوتیپ	منشأ	کد ژنوتیپ	ردیف	نام ژنوتیپ	منشأ	کد ژنوتیپ
۱	Zargol	ایران	G1	۷	Lakomka	روسیه	G7
۲	Armaverski	روسیه	G2	۸	Record	رومانی	G8
۳	Azargol	ایران	G3	۹	Zaria	ایران	G9
۴	Favorit	روسیه	G4	۱۰	Sor	روسیه	G10
۵	Master	روسیه	G5	۱۱	Progress	روسیه	G11
۶	SHF81-90	روسیه	G6	۱۲	Gabur	روسیه	G12

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی و برخی خصوصیات خاک مناطق انجام پروژه

Table 2. Geographical characteristics and some soil characteristics of the locations in project

منطقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی (درجه- دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه- دقیقه)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	بافت خاک	هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)
اراک	۱۷۰۸	۴۹:۴۶	۳۴:۰۶	۲۵۰	لومی- شنی	/۳۸
بیرجند	۱۴۹۱	۵۹:۱۲	۳۲:۵۲	۱۸۸	لومی- رسی	۰/۳۵
شیراز	۱۴۸۴	۵۲:۳۶	۲۹:۳۲	۲۱۰	شنی - لومی	۰/۳۲
کاشمر	۱۱۰۹	۵۸:۲۸	۳۵:۱۲	۱۹۲	لومی	۰/۴۱
کرج	۱۳۱۲	۵۰:۵۴	۳۵:۵۵	۲۴۰	لومی -رسی	۰/۳۳

نتایج و بحث

آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی مؤید یکنواختی خطاهای آزمایشی بود ($p>0.05$). نتایج تجزیه واریانس مرکب در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند. معنی‌داربودن اثر محیط نشان داد که محیط‌ها از نظر عملکرد ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف دارند و معنی‌داربودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط حاکی از عدم تأثیر یکسان محیط بر روی همه ژنوتیپ‌ها بود به‌عبارت دیگر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان دادند.

با توجه به نتایج حاصل از واریانس توجیه‌شده، محیط با ۳۲/۴۳ درصد از واریانس کل، بیش‌ترین میزان تغییرات داده‌ها را به‌خود اختصاص داد. اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۴/۸۳ و ۲۲/۴۲ درصد از واریانس کل را تبیین کردند (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در جدول ۴ ارائه شده است؛ طبق نتایج، ژنوتیپ Record با متوسط عملکرد ۳۶۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه را دارا بود و در گروه A قرار گرفت. همچنین ژنوتیپ Azargol با متوسط عملکرد ۲۹۳۷/۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین مقدار عملکرد دانه را به‌خود اختصاص داد و در گروه C قرار گرفت. با توجه به این‌که مکان‌های مورد آزمایش طیف وسیعی از عوامل محیطی را دارا بودند بنابراین میانگین عملکرد دانه این مناطق نیز دامنه وسیعی از ۲۷۲۶/۵۶ تا ۴۱۹۸/۷۸ کیلوگرم در هکتار را نشان دادند (جدول ۴).

جهت بررسی تنوع بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و مطالعه اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط از روش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد (اشکال ۱ تا ۶). بر اساس روش GGE biplot مجموع دو مؤلفه اصلی اول و دوم (PC1= ۴۶/۹۴ و PC2= ۲۷/۰۳)، ۷۳/۹۷ درصد از تغییرات را توجیه نمودند؛ به‌عبارت دیگر این دو مؤلفه توانستند ۷۳/۹۷ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را تبیین نمایند که بیانگر اعتبار نسبتاً زیاد نمودار بای‌پلات حاصل از این مطالعه در تبیین تغییرات G+GE است. درصورتی‌که مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرات موجود را تبیین نماید نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط خواهد بود (۳۱) اما این امر به‌معنای نامعتبربودن بای‌پلات نیست (۳۶).

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

هنگامی‌که نمودار بای‌پلات، حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌توان برای تعیین محیط‌های بزرگ از آن استفاده کرد (۳۷).

شکل ۱ همبستگی و روابط بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. در این نمودار هر چه زاویه بین بردارهای محیط‌ها کم‌تر باشد، بین محیط‌ها همبستگی بیشتری وجود دارد (۳۲ و ۳۶). در واقع بالابودن همبستگی بین محیط‌ها به‌معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها است (۳۱ و ۳۵). به‌طورکلی کسینوس زاویه بین بردارها میزان همبستگی را نشان می‌دهد. درصورتی‌که زاویه بین بردارها کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیانگر این است که بین محیط‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند و درصورتی‌که زاویه بین بردارها بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، به‌معنای همبستگی منفی بین محیط‌ها می‌باشد. همان‌گونه که در این نمودار نشان داده شده است، بین مکان‌های کرج، کاشمر و بیرجند همبستگی بالایی وجود دارد که این موضوع نشان‌دهنده پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها است، بنابراین بین رتبه عملکرد این ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود. اراک و کاشمر همبستگی تقریباً نزدیک به صفر نشان دادند که این امر نشانگر عدم تشابه این دو محیط از لحاظ تولید دانه آفتابگردان است به‌بیان‌دیگر ژنوتیپ‌ها در این دو مکان روند عملکرد مستقلی را داشتند. محیط‌های اراک با بیرجند، اراک با شیراز، کرج با شیراز، کاشمر با شیراز و بیرجند با شیراز دارای همبستگی منفی بودند، بنابراین ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها دارای روند مشابهی نیستند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد مطالعه در ۵ منطقه

Table 3. Combined analysis of variance for 12 sunflower genotypes across in 5 environments

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده (٪)
محیط	۴	۴۶۵۲۱۵۸۷/۱۷	۱۱۶۳۰۳۹۶/۷۹**	۳۲/۴۳
اشتباه اول	۱۰	۱۶۴۲۸۰۲۶/۷۸	۱۶۴۲۸۰۲/۶۸	۱۱/۴۵
ژنوتیپ	۱۱	۶۹۳۳۶۷۶/۵۱	۶۳۰۳۳۴/۲۳^{ns}	۴/۸۳
ژنوتیپ×محیط	۴۴	۳۲۱۶۰۵۱۴/۴۳	۷۳۰۹۲۰/۷۸**	۲۲/۴۲
اشتباه دوم	۱۱۰	۴۱۳۸۳۴۶۵/۹۰	۳۷۶۲۱۳/۳۰	۲۸/۸۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۵۸		

** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

Table 4. Mean comparison of grain yield for sunflower genotypes across

کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	رتبه	کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	رتبه
G1	Zargol	۳۲۶۸/۳^{abc}	۵	G7	Lakomka	۳۴۲۱/۸^{abc}	۸
G2	Armaverski	۳۱۰۳/۹^{abc}	۳	G8	Record	۳۶۲۲/۹^{a}	۱۲
G3	Azargol	۲۹۳۷/۳^{c}	۱	G9	Zaria	۳۳۸۲/۱^{abc}	۷
G4	Favorit	۳۱۸۳/۸^{abc}	۴	G10	Sor	۳۴۸۵/۷^{ab}	۱۱
G5	Master	۳۴۴۱/۴^{abc}	۹	G11	Progress	۳۰۲۹/۷^{bc}	۲
G6	SHF81-90	۳۴۵۳/۸^{abc}	۱۰	G12	Gabur	۳۲۷۴/۱^{abc}	۶

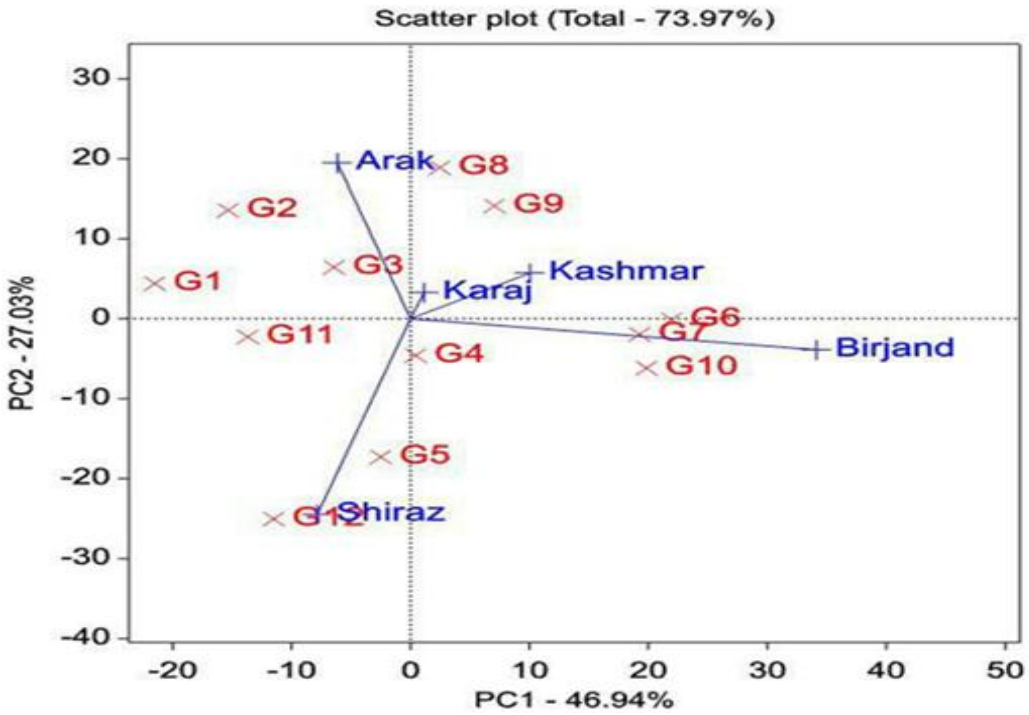
از مزیت‌های این نمودار این است که می‌توان از آن برای به‌دست‌آوردن اطلاعات دیگری به‌شرح زیر استفاده کرد:

الف) در واقع بردارهای مشاهده‌شده در این نمودار می‌توانند جهت شناسایی محیط‌های بزرگ نیز استفاده گردند، به‌این‌ترتیب که محیط‌هایی که زوایای بزرگ، یا همبستگی منفی دارند برای این منظور به کار می‌روند (۳۲).

ب) مزیت دیگر این محیط‌ها حذف محیط‌هایی است که به‌علت داشتن زاویه حاده همبستگی مثبتی دارند زیرا اطلاعاتی که از این مکان‌ها به‌دست می‌آید مشابه می‌باشند، پس با حذف محیط‌های مشابه، هم هزینه آزمایش‌ها کاهش می‌یابد و هم کارایی اصلاح افزایش می‌یابد (۳۱).

در این مطالعه مکان‌های کرج، کاشمر و بیرجند دارای همبستگی نزدیکی بودند؛ بنابراین توصیه می‌شود که یکی از این سه مکان به‌منظور کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات آینده استفاده شود. ج) ویژگی مهم دیگر این نمودار، طول بردار محیط‌ها می‌باشد که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است و نیز به‌عنوان شاخصی جهت قابلیت تمایز محیط‌ها می‌باشد بدین‌صورت که بردارهای بلندتر از انحراف معیار بالاتر برخوردار بوده و بنابراین قابلیت تمایز بیشتری دارند. یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط قابلیت تمایز آن می‌باشد به‌نحوی‌که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفید و سودمندی در مورد ژنوتیپ‌های استفاده‌شده در آزمایش ارائه نمایند (۳۲). بررسی بردارهای محیط‌ها حاکی از این بود که محیط‌های اراک، بیرجند و شیراز دارای طول بردارهای بلند بودند که نشان‌دهنده قابلیت تمایز بالای این محیط‌ها است. محیط‌های کرج و کاشمر به‌علت دارابودن طول بردار کوتاه‌تر نسبت به سایر محیط‌ها قابلیت تمایز کم‌تری داشتند. در نهایت مطالعه بای‌پلات همبستگی محیط‌ها نشان داد که بیش‌تر محیط‌های مورد آزمایش دارای قابلیت تمایز بالایی بودند و می‌توانند در مطالعات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در ارقام آفتابگردان میان ژنوتیپ‌ها تمایز مناسبی ایجاد نمایند.

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]



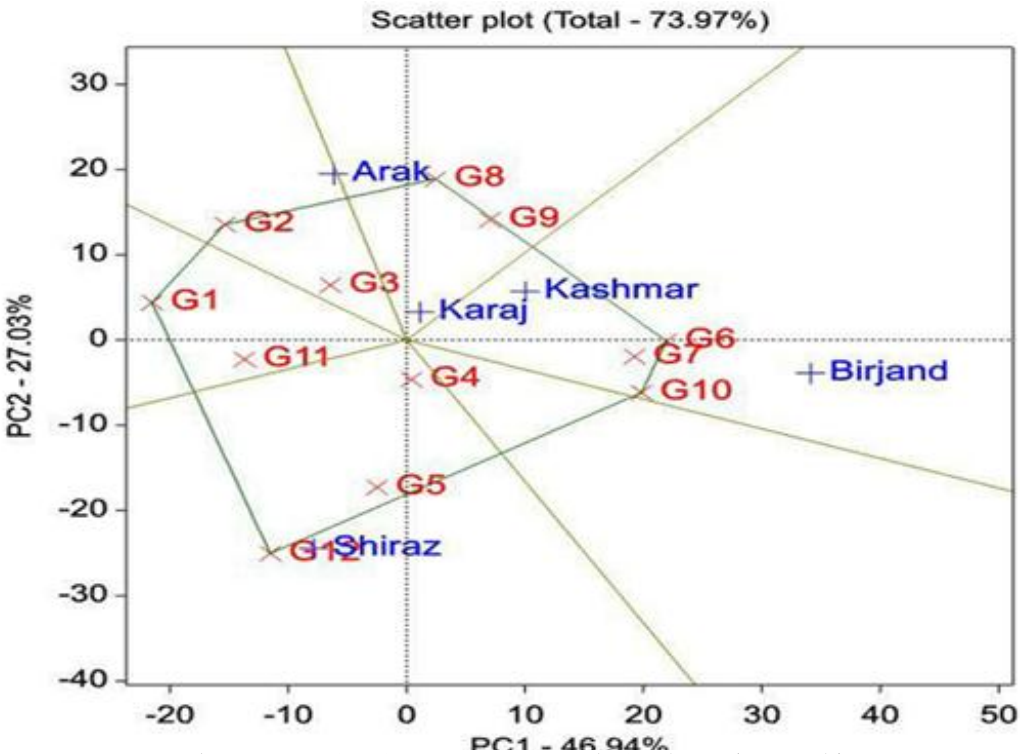
شکل ۱- نمودار بای‌پلات بررسی روابط بین محیط‌ها
Figure 1. Biplot examine the relationship between the environments

نمودار چندضلعی (Polygon) (شکل ۲) اطلاعات جامع و کاملی را در خصوص واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها در اختیار قرار می‌دهد. این چندضلعی برای اولین بار توسط یان (۲۹، ۳۰) به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و نیز مشخص‌نمودن محیط‌های بزرگ استفاده شد. چندضلعی درون این بای‌پلات ژنوتیپ‌های برتر برای هر محیط را مشخص می‌کند. در این شکل شش بخش مشاهده می‌شود. ژنوتیپ‌های Record، Zaria، SHF81-90، Sor، Gabur، Zargol و Armaverski در گوشه یا رأس این چندضلعی قرارگرفته‌اند. مکان کرج در بخشی قرار گرفته که ژنوتیپ‌های Record و Zaria در رأس آن است و این بدان معنی است که این ژنوتیپ‌ها بهترین ژنوتیپ‌ها برای کرج می‌باشند. مکان‌های کاشمر و بیرجند در بخشی واقع شده‌اند که ژنوتیپ‌های SHF81-90 و Sor در رأس آن قرارگرفته‌اند، پس این ژنوتیپ‌ها بهترین ژنوتیپ‌ها برای این مکان‌ها است، بعد از این دو ژنوتیپ، ژنوتیپ Lakomka بهترین ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برای کاشمر و بیرجند بود. ژنوتیپ Gabur در رأس بخشی است که مکان شیراز در آن واقع شده است، در این محیط، ژنوتیپ Master پس از ژنوتیپ Gabur برترین ژنوتیپ برای این مکان بود و ژنوتیپ Armaverski نیز در رأس بخشی قرار گرفته است که مکان اراک در آن واقع شده است، در نتیجه این ژنوتیپ‌ها بهترین ژنوتیپ‌ها برای این محیط‌ها می‌باشند و پس از آن بهترین ژنوتیپ برای اراک ژنوتیپ Azargol است. هیچ محیطی در بخشی که ژنوتیپ‌های Zargol و Progress در آن قرار دارند، واقع نشده که مؤید این امر است که این ژنوتیپ‌ها در هیچ محیطی برتری نداشته و جزء ژنوتیپ‌های ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. همچنین ژنوتیپ Favorit تقریباً در مرکز بای‌پلات قرار گرفت که مؤید عکس‌العمل یکسان آن به بیشتر محیط‌های مورد مطالعه بوده و جزء ژنوتیپ‌های ضعیف در بیشتر محیط‌ها بود. جهت تجزیه پایداری ارقام زمستانه گندم در ایالت انتاریو کانادا از روش GGE biplot استفاده شد و نتایج حاصل از نمودار چندضلعی حاکی از دو زیر ناحیه بود که در هر زیر ناحیه یک ژنوتیپ برتر قرار گرفت (۳۱).

با استفاده از بای‌پلات شکل ۳، میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها ارزیابی گردید. در کل ژنوتیپ‌هایی که در جهت مثبت محور افقی قرار گرفته‌اند نسبت به سمت منفی این محور عملکرد بیشتری داشتند. این شکل نشان داد که ژنوتیپ SHF81-90 بالاترین میزان عملکرد و ژنوتیپ Zargol کم‌ترین میزان عملکرد را دارا بودند. همچنین ژنوتیپ‌های Gabur و Record علاوه‌بر عملکرد پایین بیش‌ترین نوسان عملکرد دانه (بیشترین ناپایداری) را نشان دادند، زیرا با بلندترین طول خط بر محور افقی، عمود گشته‌اند، درحالی‌که ژنوتیپ SHF81-90 و پس‌ازآن ژنوتیپ‌های Lakomka و Sor پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

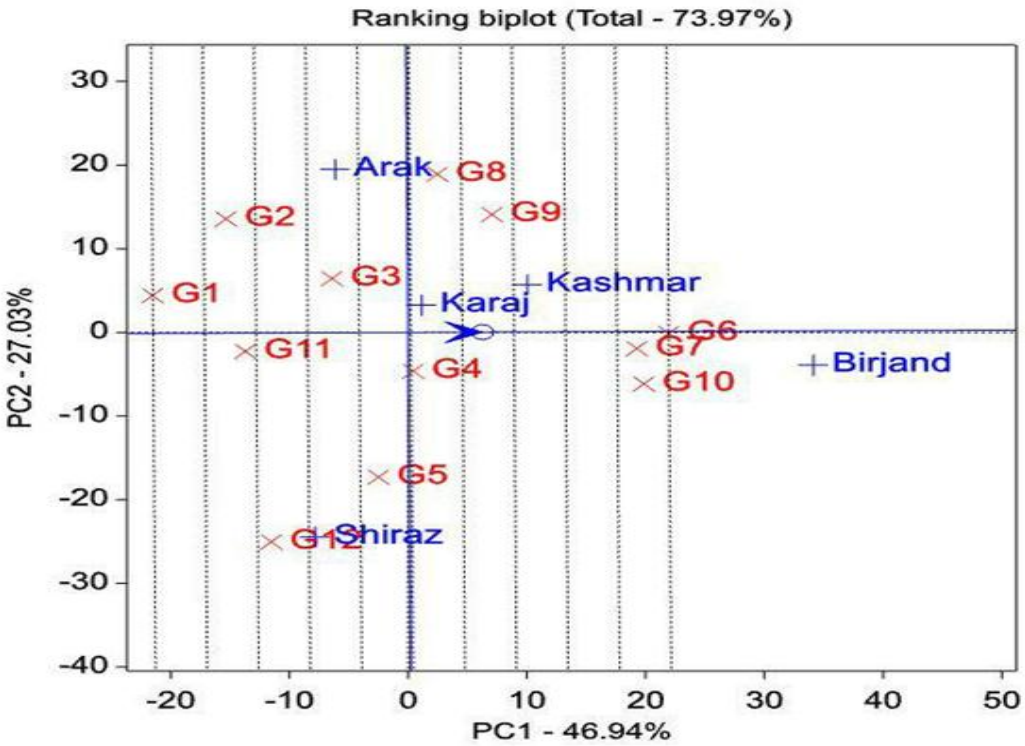
اگرچه ژنوتیپ‌های Favorit، Progress و Zargol نوسان پایداری کمی نشان دادند اما از نظر این نمودار از لحاظ عملکرد دانه در موقعیت مناسبی قرار نگرفته‌اند لذا مورد گزینش واقع نشدند.

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]



شکل ۲- نمودار چندضلعی بای‌پلات جهت تعیین ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط

Figure 2. Polygons of GGE biplot method for determine the appropriate cultivars in every environment



شکل ۳- نمودار بای‌پلات جهت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

Figure 3. Biplot graph for ranking cultivars based on the average performance and stability

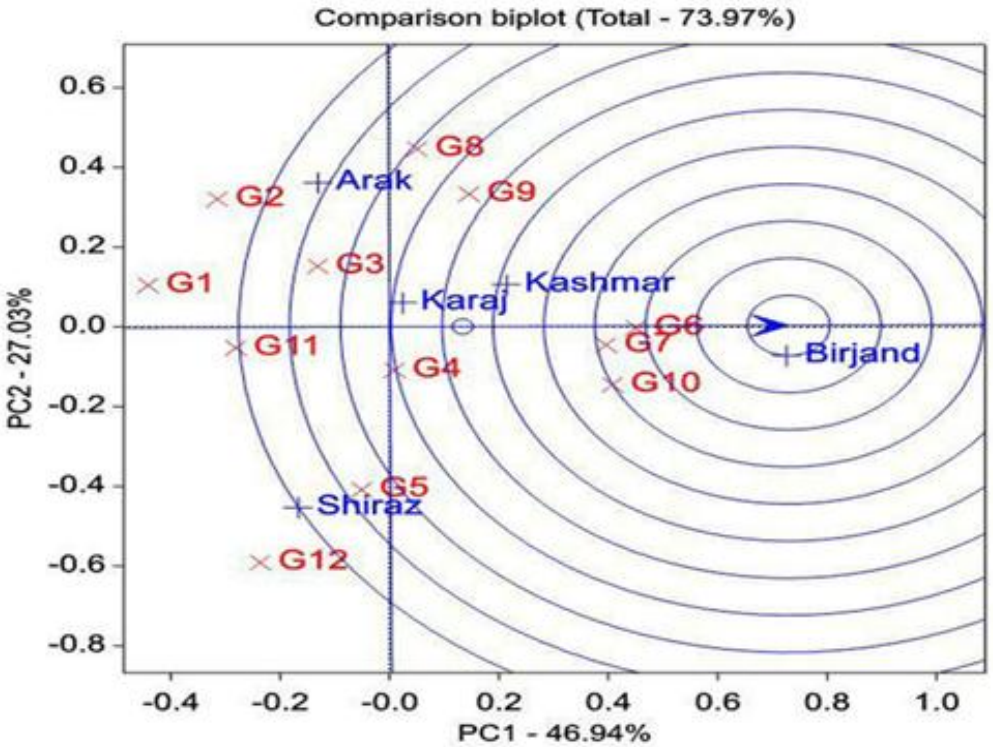
[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

شکل ۴ رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد. در واقع محیط‌های ایده‌آل بیش‌ترین قابلیت تشخیص و نمایندگی را در بین دیگر محیط‌ها دارند. بر اساس این نمودار بیرجند به‌علت قرارگرفتن در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دوایر متحدالمرکز به‌عنوان بهترین ایستگاه شناخته شد و پس‌ازآن به‌ترتیب کاشمر، کرج، اراک و شیراز قرار گرفتند. شیراز به‌علت بیش‌ترین فاصله از مرکز دوایر متحدالمرکز به‌عنوان ضعیف‌ترین ایستگاه شناخته شد. محیط ایده‌آل یک نماینده مناسب برای بررسی ژنوتیپ‌ها است. در واقع محیط‌های ایده‌آل، بیانگر ایده‌آل‌ترین الگوی پاسخ ژنوتیپی می‌باشند.

شکل ۵ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد. در واقع ژنوتیپی ایده‌آل شناخته می‌شود که هم میانگین عملکرد بالا و هم پایداری بالا داشته باشند. مزیت این نمودار نسبت به نمودارهای قبل و سایر روش‌های تجزیه پایداری این است که همه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی ارزیابی می‌شوند، پس ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرجعی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ در مرکز دوایر متحدالمرکز وجود دارد. طبق این نمودار ژنوتیپ SHF81-90، در مرکز بای‌پلات قرار گرفت و به‌عنوان بهترین ژنوتیپ شناخته شد. پس از آن ژنوتیپ‌های Lakomka و Sor، به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. ژنوتیپ‌های Gabur، Zargol و Armaverski نامناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این روش شناخته شدند.

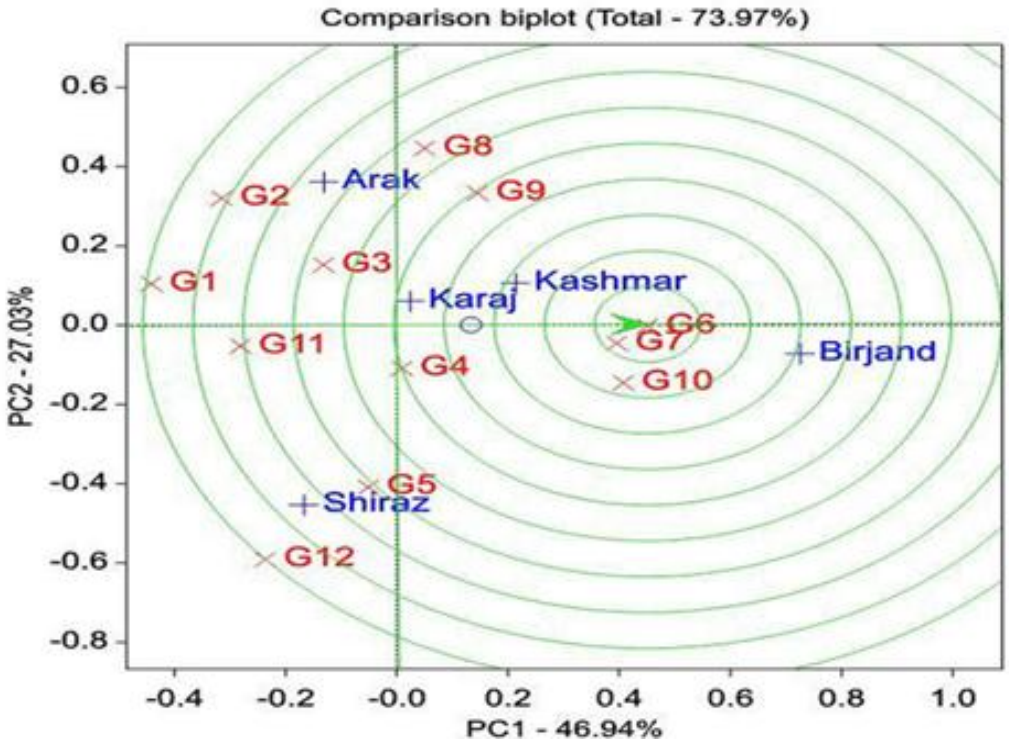
شکل ۶ گروه‌بندی محیط‌ها و تعیین محیط‌های بزرگ را نشان می‌دهد. در این مطالعه مناطق مورد بررسی به چهار محیط بزرگ تقسیم شدند. در این نمودار، کرج به‌عنوان اولین محیط بزرگ، کاشمر و بیرجند به‌عنوان دومین محیط بزرگ، شیراز به‌عنوان سومین محیط بزرگ و اراک به‌عنوان چهارمین محیط بزرگ معرفی شدند. صباغ‌نیا و همکاران (۲۶) نیز با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از طریق روش GGE biplot برای عملکرد عدس در ایران سه محیط بزرگ را شناسایی کردند.

بر اساس تجزیه‌های انجام‌شده با روش GGE biplot مشخص شد که در بیشتر مناطق مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های SHF81-90، Lakomka و Sor دارای بیش‌ترین پایداری عملکرد دانه و بیش‌ترین مطلوبیت و در مقابل ژنوتیپ‌های Zargol و Armaverski در تمام مناطق دارای کم‌ترین میزان پایداری و مطلوبیت بودند. همچنین بر اساس نمودارهای به‌دست‌آمده در این بررسی، محیط بیرجند به‌عنوان برترین محیط شناسایی شد و محیط شیراز دارای مطلوبیت پایین‌تری نسبت به سایر محیط‌ها بود.

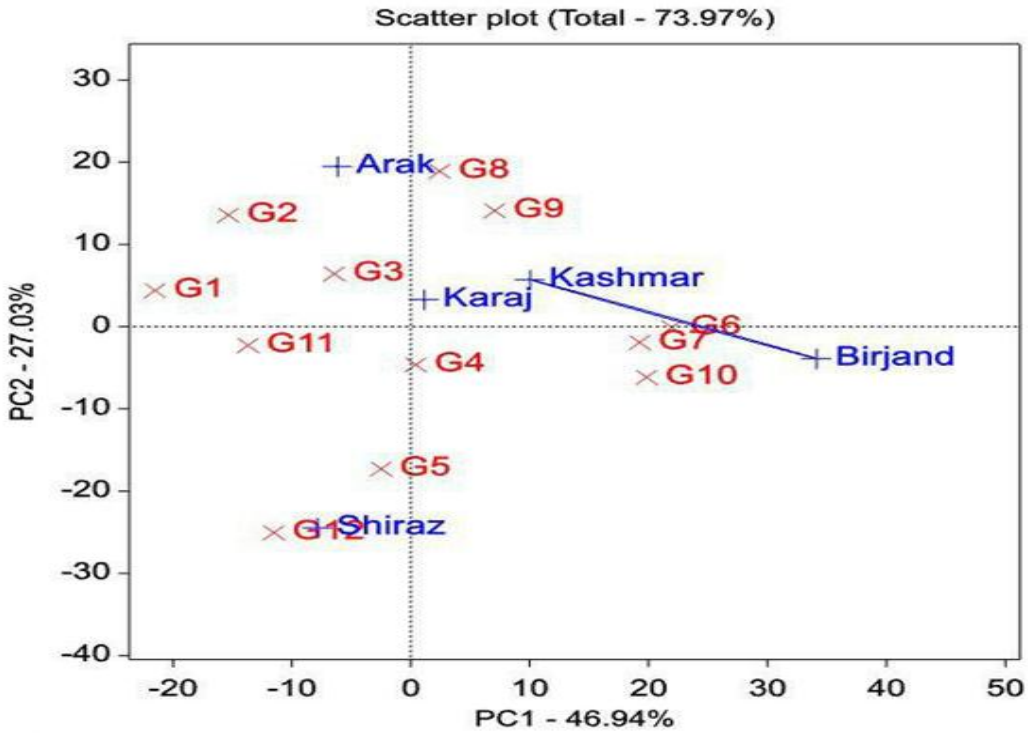


شکل ۴- نمودار رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل
Figure 4. Ranking biplot environments based on hypothetical ideal environment

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]



شکل ۵- نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل
Figure 5. Ranking biplot genotypes based on hypothetical ideal genotype



شکل ۶- نمودار تعیین محیط‌های بزرگ
Figure 6. Mega-environments biplot

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

منابع

1. Agaei, M. 1993. Study of genotype×environment interaction in barely cultivars on Tabriz. Journal of Agriculture Science, 1(2): 28-40 (In Persian).
2. Allard, R.W. and A.D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype-environmental in applied Plant Breeding. Crop Science, 4: 505-507.
3. Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype- environment interaction for cereals in Italy. Euphytica, 94: 53-62.
4. Cooper, M. and G.L. Hammer. 1996. Plant adaptation and crop improvement. CAB International, Wallingford, England.
5. Dehghani, H., A. Ebadi and A. Yousefi. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. Agronomy Journal, 98: 388-393.
6. Delacy, I.H., R.L. Eisemann and M. Cooper. 1990. The importance of genotype by environment interaction in regional variety trials, pp: 287- 300. In: kang. M. S. (Ed.). Genotype by environment interaction and plant breeding. Baton Rouge. Louisiana State University, USA.
7. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agronomica Hungarica, 54(4): 459-467.
8. Farshadfar, E., M. Mohammadi, M. Aghaee and Z. Vaisi. 2012. GGE biplot analysis of genotype×environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. Australian Journal of Crop Science, 6(6): 1074-1079.
9. Fernandez, G.C.J. 1991. Analysis of genotype environment interaction by stability estimates. Horticultural Sciences, 27: 947-950.
10. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis, Biometrika, 58: 453-467.
11. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science, 37: 311-326.
12. Kalate jari, S., Kh. Mostafaavi and A. Nabipour. 2016. Interaction of Genotype and Environment on the Open Pollinated Sunflower (*Helianthus annuus*) Cultivars Based on Parametric methods and Tai method. Journal of Crop Breeding, 8(17): 114-122 (In Persian).
13. Kang, M.S. 1998. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. Adv. Agronomy, 62: 199-252.
14. Kempton, R.A. 1984. The use of biplot in interpreting variety by environment interaction. Journal of Agricultural Science. Cambridge, l22: 335-342.
15. Kendal, E. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Ekin Journal, 2(1): 90-99.
16. Lin, C.S., M.R. Binns and L.P Lefcovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Science, 26: 894- 900.
17. Makumbi, D., A. Diallo, K. Kanampiu, S. Mugo and H. Karaya. 2015. Agronomic performance and genotype × environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. Crop Science, 55: 540-555.
18. Mohammadi, R., M. Armion, H. Esmail Zad, M.M. Ahmadi and D. Sadegh zadeh ahari. 2012. Genotype × Environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot model. Seed and plant improvement journal, 3(28): 503-518 (In Persian).
19. Moreno-Gonzalez, J., J. Crossa and P.L. Cornelius. 2004. Genotype×environment interaction in multi- environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica, 137: 119-127.
20. Mostafavi, K., H. Shojaei, M. Khodarahmi and A. Mohammadi. 2010. The interaction of genotype and environment in canola with using GGE biplot graphical methods, Third International Seminar of oilseeds and edible oils, Tehran, Coordination Center of Science and Industry oilseeds.
21. Oliveira, T.R.A., H.W.L. Carvalho, G.H.F. Oliveira, E.F.N. Costa, G.A. Gravina, R.D. Santos and J. L.S.C. Filho. 2019. Hybrid maize selection through GGE biplot analysis. Bragantia, Campinas, 78: 166-174. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20170438
22. Omrani, S., A. Omrani, M. Afshari, A. Saremi-rad, S. Bardehji and P. Foroozesh. Application of Multivariable of additive Main Effects and Multiplicative Interaction and Biplot Graphical Analysis Multivariate Methods on the Study of Genotype-Environment Interaction on Safflower Genotype Grain Yield. Journal of Crop Breeding, 11(31): 153-163 (In Persian).
23. Pham, H.N. and M.S. Kang. 1988. Interrelationships among and repeatability of several stability statistics estimated from international maize trials. Crop Science, 28: 925-928.
24. Raiger, H.L. and V.T. Prabhakaran. 2001. A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. Indian Journal of Genetics, 61: 7-11.
25. Rajaram, S., C.E. Mann, G. Ortiz-Ferrara and A. Mujeeb-Kazi. 1983. Adaptation, stability and high yield potential of certain 1B/1R CIMMYT wheats. Proc. Sixth Intl. Wheat Genet. Symp. Kyoto, Japan, PP: 613-621.
26. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2008. Graphical analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. Agronomy Journal, 100: 760-764.

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

27. Sattari, A., M. Solouki, N. Bagheri, B. Fakheri and A. Nabipour. 2019. Analysis of Genotype, Environment Interaction and Grain Yield Stability of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes in Mazandaran Province. Journal of Crop Breeding, 11(31): 1-10 (In Persian).
28. Snell, E.J., and H.R. Simpson. 1991. Applied Statistics: Handbook of Genstat Analysis. Chapman and Hall, 136 pp.
29. Yan, W. 1999. A study on the methodology of cultivar evaluation based on yield trial data- with special reference to winter wheat in Ontario. Ph.D. Thesis, university of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
30. Yan, W. 2016. Analysis and Handling of G × E in a Practical Breeding Program. Crop Science, 56: 2106-2118. doi: 10.2135/cropsci2015.06.0336
31. Yan, W. and L.A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype × environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Science, 41: 19-25.
32. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE-biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
33. Yan, W. and N.A. Tinker. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. Crop Science, 45: 1004-1016.
34. Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa and L.A. Hunt. 2001. Two type of GGE biplots for analyzing multi-environmental trial data. Crop Science, 41: 656-663.
35. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597-605.
36. 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.
37. Yang, R.C., J. Crossa, P.L. Cornelius and J. Bugueno. 2009. Biplot analysis of genotype× environment interaction: Proceed with caution. Crop Science, 49: 1564-1576.

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]

Genotype- Environment Interaction Study Base GGE biplot Method for Kernel Yield in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars

Ali Saremi Rad[1], Khodadad Mostafavi[2] and Abdollah Mohammadi[3]

1- Plant Breeding Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, (Corresponding author: mostafavi@kiau.ac.ir)
3- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
Received: October 29, 2018 Accepted: January 27, 2020

Abstract

Accurate interpretation of the genotype-environment interaction provides the ability to the identification of stable genotypes for breeders. To study genotype-environment interaction, 12 genotypes of sunflower were cultivated in five regions including Arak, Birjand, Kashmar, Karaj and Shiraz were evaluated in the 2015-2016 growing season. To do yield stability analysis the graphical GGE biplot method was used. The results showed that the Record and Zaria genotypes in Karaj, SHF81-90 and Sor genotypes in Birjand and Kashmar, Gabur genotype in Shiraz and Armaverski in Arak were stable with the highest kernel yield. Environments of Birjand, Kashmar, Karaj, Arak and Shiraz were the best environments respectively. Genotypes rankings based on the ideal cultivar and also cultivars ranking graph based on the mean yield and stability revealed that genotypes SHF81-90, Lakomka and Sor were the best and stable genotypes. The relationship view of biplot indicated a high correlation between environments of Karaj, Kashmar and Birjand. Biplot graphical method determined four mega-environments: Karaj as the first mega-environment, Kashmar and Birjand as the second mega-environments, Shiraz as the third mega-environment and Arak as the fourth mega-environment.

Keywords: Ideal Genotypes, Mega-environment, Stability, Sunflower

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.43]