



"مقاله پژوهشی"

تجزیه الگوی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در آفتابگردان با استفاده از روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع پذیر و برهمکنش ضرب پذیر

مهدی غفاری^۱، امیر قلی زاده^۲، سید عباسعلی اندرخور^۳، اسدالله زارعی سیاه بیدی^۴، سید احمد کلانتر احمدی^۵،
فرناز شریعتی^۶ و عباس رضایی زاد^۷

- ۱- دانشیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران (نویسنده مسوول: a.gholizadeh@areeo.ac.ir)
- ۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
- ۴- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
- ۵- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
- ۶- استادیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۷- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳۰

صفحه: ۲۰۸ تا ۲۱۸

چکیده

برهمکنش ژنوتیپ × محیط مسئله‌ای مهم در مطالعه صفات کمی می‌باشد زیرا پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را کاهش می‌دهد و همچنین تفسیر آزمایش‌های ژنتیکی را دشوار و پیش‌بینی‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. در این راستا به منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌های آفتابگردان، تعداد یازده هیبرید جدید آفتابگردان به همراه چهار رقم در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال زراعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع پذیر و برهمکنش ضرب پذیر (AMMI) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۵۷/۶۸، ۷/۶۰ و ۱۶/۹۳ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند. همچنین نتایج نشان داد که پنج مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۹۷/۶۴ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بر اساس بای‌پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، ژنوتیپ‌های G3 و G5 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا شناخته شدند. همچنین محیط‌های دزفول و کرمانشاه به دلیل داشتن برهمکنش بالا، به عنوان ایده‌آل‌ترین محیط‌ها جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های آفتابگردان شناخته شدند. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به دو گروه تفکیک کرد. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، هر دو سال آزمایش مکان‌های کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در یک گروه قرار گرفتند که بیان‌گر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این مکان‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، پایداری، عملکرد دانه، هیبرید

مقدمه

محیط سبب کاهش همبستگی بین ارزش‌های فنوتیپی و ژنوتیپی می‌شود و با تغییر عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را پیچیده و با مشکل مواجه می‌کند (۲۶، ۱۰). به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، آزمایشات مقایسه عملکرد تکراردار در چند مکان و در چند سال انجام می‌شود که در این آزمایشات علاوه بر معیار عملکرد، میزان پایداری ژنوتیپ‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود و در نهایت ژنوتیپ‌هایی گزینش می‌شوند که عملکرد بالا و برهمکنش ژنوتیپ × محیط کمتری داشته باشند (۲).

روش‌های زیادی برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط توسط محققان مختلف به کار برده شده است. این روش‌ها شامل دو دسته اصلی تک متغیره و چند متغیره می‌باشند (۱۱). در میان روش‌های چندمتغیره، روش اثر اصلی

با توجه به نیاز روزافزون کشور به روغن خوراکی از طریق افزایش تولید محصولات دانه روغنی، لزوم دستیابی به ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا و سازگار به شرایط محیطی اجتناب‌ناپذیر است. آفتابگردان یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی می‌باشد که سازگاری بالایی به آب و هوای اکثر نقاط ایران دارد (۱۹) و روغن آن به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (۶). با توجه به این ویژگی‌های مهم، تولید ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا و پایدار جهت افزایش سطح زیر کشت آفتابگردان الزامی می‌باشد.

یکی از مهمترین مشکلات برنامه‌های به‌نژادی برای تولید ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا و پایدار، وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط می‌باشد. برهمکنش ژنوتیپ ×

شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود 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. آبیاری به گونه‌ای بود که یک روز بعد از کشت، آبیاری 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، ابتدا ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف گردید. در ادامه تمام بوته‌های کرت برداشت شد و پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرمکوبی 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 به روش آزمون کولموگوروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۳۵) انجام شد. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام از روش چند متغیره AMMI استفاده شد. مدل تجزیه AMMI به صورت زیر است (۱۷، ۱۸).

$$Y_{ger} = \mu + \sigma_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

در رابطه بالا، Y_{ger} تکرار r ام از عملکرد ژنوتیپ g ام در محیط e ام، μ میانگین کل، σ_g و β_e به ترتیب اثر اصلی ژنوتیپ g ام (اختلاف میانگین ژنوتیپ g ام از میانگین کل) و اثر اصلی محیط e ام (اختلاف میانگین محیط e ام از میانگین کل)، λ_n مقدار منفرد برای مؤلفه اصلی n ام که برابر با جذر مقدار ویژه^۲ مربوط به همان مؤلفه اصلی است، γ_{gn} بردار ویژه^۳ ژنوتیپ g ام از مؤلفه اصلی n ام اثر متقابل، δ_{en} بردار ویژه محیط e ام از مؤلفه اصلی n ام اثر متقابل، ρ_{ge} مانده مدل ضرب‌پذیر مربوط به ژنوتیپ g ام در محیط e ام، ε_{ger} مانده مدل جمع‌پذیر مربوط به تکرار r ام از عملکرد ژنوتیپ g ام

جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر AMMI^۱ به عنوان روشی مناسب و کارا برای تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شده است. روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. در این روش اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط (اثر اصلی جمع‌پذیر) با استفاده از تجزیه واریانس برآورد شده و سپس برهمکنش ژنوتیپ × محیط (اثر متقابل ضرب‌پذیر) با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از آنجاییکه این روش اثرات اصلی و اثرات متقابل را از یکدیگر تفکیک و بخش اعظمی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند، بنابراین توسط محققان زیادی به منظور تجزیه پایداری و تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شده است (۱۲). همچنین این روش در پایه‌ریزی برنامه‌های به‌نژادی بلند مدت در خصوص سازگاری خصوصی و عمومی، انتخاب محیط ایده‌آل و گروه‌بندی محیط‌ها بسیار مناسب می‌باشد (۱۸). خماری و همکاران (۲۵) با استفاده از روش امی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان، اثرات محیط، ژنوتیپ و برهمکنش آنها را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که روش AMMI مناسب‌ترین روش برای تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تعیین ارقام پایدار می‌باشد. استفاده از روش AMMI برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف از جمله جو (۴)، باقلا (۳۷)، ذرت (۱)، فستوکا (۹)، گلرنگ (۱۳)، یولاف (۳۲)، چغندر قند (۲۰)، سویا (۷)، گندم نان (۱۴)، گندم دوروم (۲۸)، نخود (۸)، برنج (۲۱) و کلزا (۲۹، ۵) گزارش شده است.

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط از طریق روش چندمتغیره AMMI در ژنوتیپ‌های آفتابگردان و شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مورد بررسی و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۱ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه ارقام گلسا، قاسم، شمس و فرخ در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) ارزیابی شدند. نام و میداء ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ بیان شده است. مشخصات فنی و زراعی هشت آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته

جدول ۱- شماره، نام و مبدا ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

| شماره | کد | نام/شجره | منشاء |
|-------|-----|---------------|-------|
| ۱ | G1 | RGK25×AGK330 | ایران |
| ۲ | G2 | RGK15×AGK376 | ایران |
| ۳ | G3 | RGK15×AGK370 | ایران |
| ۴ | G4 | RGK15×AGK358 | ایران |
| ۵ | G5 | RGK111×AGK32 | ایران |
| ۶ | G6 | RGK21×AGK2 | ایران |
| ۷ | G7 | RGKo54×AGKo60 | ایران |
| ۸ | G8 | RGK15×AGK1221 | ایران |
| ۹ | G9 | RGK21×AGKo42 | ایران |
| ۱۰ | G10 | RGK111×AGK78 | ایران |
| ۱۱ | G11 | RGK24×AGK370 | ایران |
| ۱۲ | G12 | گل‌سا | ایران |
| ۱۳ | G13 | قاسم | ایران |
| ۱۴ | G14 | شمس | ایران |
| ۱۵ | G15 | فرخ | ایران |

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

| کد | مکان | فصل رشدی | طول جغرافیایی (درجه دقیقه) | عرض جغرافیایی (درجه دقیقه) | ارتفاع از سطح دریا (متر) | متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) |
|-------|----------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Krj19 | کرج | ۱۳۹۸ | ۵۰° ۵۴' | ۳۵° ۵۶' | ۱۳۱۲ | ۳۰۰ |
| Krj20 | کرج | ۱۳۹۹ | ۵۳° ۱۰' | ۳۶° ۴۱' | ۲۹ | ۶۵۰ |
| Sa19 | ساری | ۱۳۹۸ | ۴۷° ۲۶' | ۳۴° ۰۸' | ۱۳۴۶ | ۴۶۸ |
| Sa20 | ساری | ۱۳۹۹ | ۴۸° ۳۳' | ۳۲° ۲۳' | ۸۲ | ۳۱۹ |
| Krm19 | کرمانشاه | ۱۳۹۸ | | | | |
| Krm20 | کرمانشاه | ۱۳۹۹ | | | | |
| Dez19 | دزفول | ۱۳۹۸ | | | | |
| Dez20 | دزفول | ۱۳۹۹ | | | | |

داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها بوسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده (۵۷/۶۸ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۷/۶۰ و ۱۶/۹۳ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (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 اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. جوکوویچ و همکاران (۲۴) نیز در آفتابگردان ۶۷/۴۰ درصد تغییرات را به اثر محیط نسبت دادند. همچنین سایر محققان در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولات دیگر از قبیل گلرنگ (۲۳)، ذرت (۳۴)، یولاف (۳۲)، گندم (۱۴) و جو (۳۹، ۳۸) نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داده است. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (جدول ۳) در این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به عبارت دیگر اختلاف بین 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 (۲۲، ۱۵).

در محیط عام و N تعداد مؤلفه‌های اصلی مدل AMMI است (۱۸).

برای محاسبه پایداری ژنوتیپ‌ها از پارامتر پایداری ASV که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود، استفاده شد (۳۰).

$$ASV = \sqrt{\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA1_{score})^2 + (IPCA2_{score})^2}$$

در رابطه بالا SSIPCA1 و SSIPCA2 به ترتیب مجموع مربعات مربوط به اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، IPCA1 و IPCA2 به ترتیب مربوط به مقدار نمره‌های مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها است. پارامتر میانگین رتبه (ASR) نیز بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه گردید (۵). در این پژوهش برای تجزیه AMMI از نرم افزار SAS ver 9.1 (۳۳) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver 14 (۲۷) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان

دانه بالا شناخته شد. همچنین ژنوتیپ G1 با داشتن بالاترین مقدار ASV به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۴). پارامتر میانگین رتبه (ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده است، نشان داد که ژنوتیپ‌های G5 و G3 با کمترین مقدار ASR پایدارترین و ژنوتیپ‌های G6 و G11 با بالاترین مقدار ASR ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴).

میانگین عملکرد دانه محیط‌ها به همراه مقادیر پنج مؤلفه اصلی برهمکنش محیطی و پارامتر پایداری ASV جهت بررسی پایداری محیط‌ها در جدول ۵ نمایش داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه محیطی به ترتیب مربوط به محیط‌های Krm19 (کرمانشاه سال اول با مقدار ۳۸۸۳ کیلوگرم در هکتار) و Sa20 (ساری سال دوم با مقدار ۱۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) بود. محیط‌های Ktrj19 (کرج سال اول)، Ktrj20 (کرج سال دوم)، Sa19 (ساری سال اول) و Sa20 (ساری سال دوم) با داشتن کمترین مقدار پارامتر ASV به عنوان پایدارترین و محیط‌های Krm19 (کرمانشاه سال اول)، Krm20 (کرمانشاه سال دوم)، Dez19 (دزفول سال اول)، Dez20 (دزفول سال دوم) با داشتن بالاترین مقدار پارامتر ASV به عنوان ناپایدارترین محیط‌ها شناخته شدند. نتایج پارامتر میانگین رتبه (ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده بود، نیز هم‌راستا با نتایج پارامتر پایداری ASV در شناسایی محیط‌های پایدار و ناپایدار بود (جدول ۵). نکته قابل توجه این است که محیط‌هایی مناسب و ایده‌آل محسوب می‌شوند که دارای برهمکنش بزرگ باشند. زیرا در این محیط‌ها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بهتر نمایان می‌شود (۵). بنابراین با توجه به این نکته، محیط‌های کرمانشاه و دزفول به دلیل دارا بودن برهمکنش بزرگ (ناپایدارترین محیط‌ها)، بیشترین تاثیر را در برهمکنش داشتند و به نظر می‌رسد جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب هستند.

نتایج تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش AMMI نشان داد که پنج مؤلفه اصلی برهمکنش معنی‌دار بودند و مابقی مؤلفه‌های اصلی برهمکنش غیرمعنی‌دار، به عنوان باقیمانده در نظر گرفته شدند. پنج مؤلفه اصلی اول در مجموع ۹۷/۶۴ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که سهم هر یک به ترتیب برابر با ۴۷/۸۷، ۱۹/۳۷، ۱۶/۷۷، ۷/۷۱ و ۵/۹۲ درصد بود (جدول ۳). خماری و همکاران (۲۵) از روش AMMI به منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های آفتابگردان استفاده و گزارش کردند که دو مؤلفه اول ۸۴ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را توجیه کردند. همچنین احمدپور و همکاران (۳) در بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان با استفاده از روش AMMI، بیان کردند که سهم دو مؤلفه اصلی در توجیه برهمکنش ۷۶/۱۲ درصد است.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و مقادیر نمره‌های پنج مؤلفه اصلی ژنوتیپ × محیط (IPCA) و پارامتر پایداری ASV در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۴۰۷ تا ۳۳۵۵ با میانگین کل ۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های G9 و G5 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G1، G3، G6، G8 و G14 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. روش AMMI دارای پارامترهای مختلفی است که مهمترین آنها پارامتر پایداری ASV است که توسط پژوهشگران زیادی جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده است (۳۶، ۳۱، ۲۵، ۱۶). بر مبنای پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپی پایدار است که دارای ASV کمتری باشد. در این آزمایش طبق پارامتر پایداری ASV که بر اساس دو مؤلفه اصلی اول محاسبه شده است، ژنوتیپ G3 کمترین مقدار ASV را به خود اختصاص داد و با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش، به عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف

| منابع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | مجموع مربعات توجیه شده (درصد) |
|------------------|------------|--------------|----------------------|-------------------------------|
| محیط | ۷ | ۲۵۰۷۴۶۱۱۳ | ۳۵۸۲۰۸۷۳** | ۵۷/۶۸ |
| تکرار دورن محیط | ۲۴ | ۳۷۲۲۲۱۷۱ | ۱۵۵۰۹۲۴ | |
| ژنوتیپ | ۱۴ | ۳۳۰۳۷۶۲۳ | ۲۳۵۹۸۳۰** | ۷/۶۰ |
| ژنوتیپ × محیط | ۹۸ | ۷۳۵۸۲۳۶۷ | ۷۵۰۸۳۹** | ۱۶/۹۳ |
| مؤلفه اصلی اول | ۲۰ | ۳۵۲۲۷۴۵۷ | ۱۷۶۱۳۷۳** | ۴۷/۸۷ |
| مؤلفه اصلی دوم | ۱۸ | ۱۴۲۵۳۷۹۶ | ۷۹۱۸۷۸** | ۱۹/۳۷ |
| مؤلفه اصلی سوم | ۱۶ | ۱۲۳۳۹۷۷۳ | ۷۷۱۲۳۶** | ۱۶/۷۷ |
| مؤلفه اصلی چهارم | ۱۴ | ۵۶۷۳۱۲۳ | ۴۰۵۲۲۳** | ۷/۷۱ |
| مؤلفه اصلی پنجم | ۱۲ | ۴۲۵۴۶۴۰ | ۳۵۲۸۸۷* | ۵/۹۲ |
| باقیمانده | ۱۸ | ۱۷۳۸۸۰۳ | ۹۶۶۰.۱ ^{ns} | ۲/۳۶ |
| خطا | ۳۳۶ | ۴۰۱۳۶۰۳۲ | ۱۱۹۴۵۲ | |
| کل | ۴۷۹ | ۴۳۴۷۲۴۲۰۷ | | |

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

تجزیه الگوی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در آفتابگردان با استفاده از روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر ۲۱۲

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 4. Mean seed yield, the values of the principle components and ranking of sunflower genotypes

| ژنوتیپ | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | IPCA1 | IPCA2 | IPCA3 | IPCA4 | IPCA5 | ASV |
|--------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| G1 | ۲۸۱۹ | -۲۷/۰۸ | ۳/۹۶ | -۱۳/۷۶ | ۲/۲۰ | -۱۱/۹۴ | ۴۳/۰۱ |
| G2 | ۲۵۹۱ | ۱/۴۵ | -۸/۴۷ | ۶/۴۴ | ۱۰/۳۸ | -۳/۲۶ | ۱۳/۵۰ |
| G3 | ۲۹۸۲ | ۴/۱۱ | -۲/۱۱ | ۱۷/۵۳ | -۳/۶۶ | ۵/۸۵ | ۷/۲۶ |
| G4 | ۲۷۱۶ | -۱۲/۵۲ | -۳/۹۲ | ۴/۸۳ | ۱۹/۴۷ | -۰/۰۵ | ۲۰/۶۲ |
| G5 | ۳۳۵۵ | ۷/۴۷ | ۱/۳۱ | ۱۸/۲۳ | ۳/۱۹ | ۱/۴۶ | ۱۱/۹۳ |
| G6 | ۲۷۹۴ | -۱۷/۱۴ | ۱۰/۷۹ | ۵/۱۷ | -۱۱/۷۹ | -۳/۹۶ | ۳۱/۸۲ |
| G7 | ۲۴۳۷ | ۷/۱۴ | -۷/۵۳ | ۳/۴۸ | -۷/۰۴ | ۰/۶۴ | ۱۶/۳۲ |
| G8 | ۳۲۹۲ | ۲۰/۷۸ | ۱۱/۴۷ | ۱/۲۸ | -۸/۳۷ | -۱۲/۰۷ | ۳۷/۳۱ |
| G9 | ۲۴۰۷ | -۰/۳۹ | ۸/۱۸ | -۵/۰۱ | ۷/۷۰ | ۱۴/۲۹ | ۱۲/۸۸ |
| G10 | ۲۶۹۷ | -۰/۲۷ | ۱۳/۱۷ | -۵/۵۹ | ۴/۵۳ | ۱۲/۴۹ | ۲۰/۷۰ |
| G11 | ۲۷۷۵ | ۱۵/۳۶ | -۳/۸۷ | -۲۱/۹۹ | -۸/۲۵ | ۱۱/۴۸ | ۲۴/۹۰ |
| G12 | ۲۷۳۲ | ۲۶/۶۵ | -۱/۱۰ | -۴/۸۱ | ۷/۹۴ | -۱۲/۸۸ | ۴۱/۹۲ |
| G13 | ۲۶۵۴ | -۱۲/۰۷ | ۳/۲۵ | ۱۰/۸۰ | -۱۱/۸۶ | ۳/۹۸ | ۱۹/۶۵ |
| G14 | ۲۹۶۱ | -۱۱/۲۳ | -۱۱/۹۸ | -۶/۷۲ | -۷/۴۸ | -۲/۹۰ | ۲۵/۸۰ |
| G15 | ۲۵۷۴ | -۲/۸۱ | -۸/۱۵ | -۹/۸۷ | ۳/۰۵ | -۳/۱۴ | ۱۳/۵۵ |
| رتبه | | | | | | | میانگین رتبه |
| G1 | ۵ | ۱۵ | ۷ | ۱۲ | ۱ | ۱۱ | ۹/۴۳ |
| G2 | ۱۲ | ۳ | ۱۱ | ۸ | ۱۲ | ۶ | ۸/۰۰ |
| G3 | ۳ | ۵ | ۳ | ۱۳ | ۴ | ۹ | ۵/۴۳ |
| G4 | ۹ | ۱۰ | ۶ | ۴ | ۱۵ | ۱ | ۷/۵۷ |
| G5 | ۱ | ۷ | ۲ | ۱۴ | ۳ | ۳ | ۴/۵۷ |
| G6 | ۶ | ۱۲ | ۱۲ | ۶ | ۱۳ | ۷ | ۹/۷۱ |
| G7 | ۱۴ | ۶ | ۸ | ۲ | ۶ | ۲ | ۶/۲۹ |
| G8 | ۲ | ۱۳ | ۱۳ | ۱ | ۱۱ | ۱۲ | ۹/۲۹ |
| G9 | ۱۵ | ۲ | ۱۰ | ۵ | ۸ | ۱۵ | ۸/۲۹ |
| G10 | ۱۰ | ۱ | ۱۵ | ۷ | ۵ | ۱۳ | ۸/۵۷ |
| G11 | ۷ | ۱۱ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۹/۷۱ |
| G12 | ۸ | ۱۴ | ۱ | ۳ | ۹ | ۱۴ | ۹/۰۰ |
| G13 | ۱ | ۹ | ۴ | ۱۱ | ۱۴ | ۸ | ۹/۱۴ |
| G14 | ۴ | ۸ | ۱۴ | ۹ | ۷ | ۴ | ۸/۱۴ |
| G15 | ۱۳ | ۴ | ۹ | ۱۰ | ۲ | ۵ | ۶/۸۶ |

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه محیط‌های مورد بررسی

Table 5. Mean seed yield, the values of the principle components and ranking of studied environments

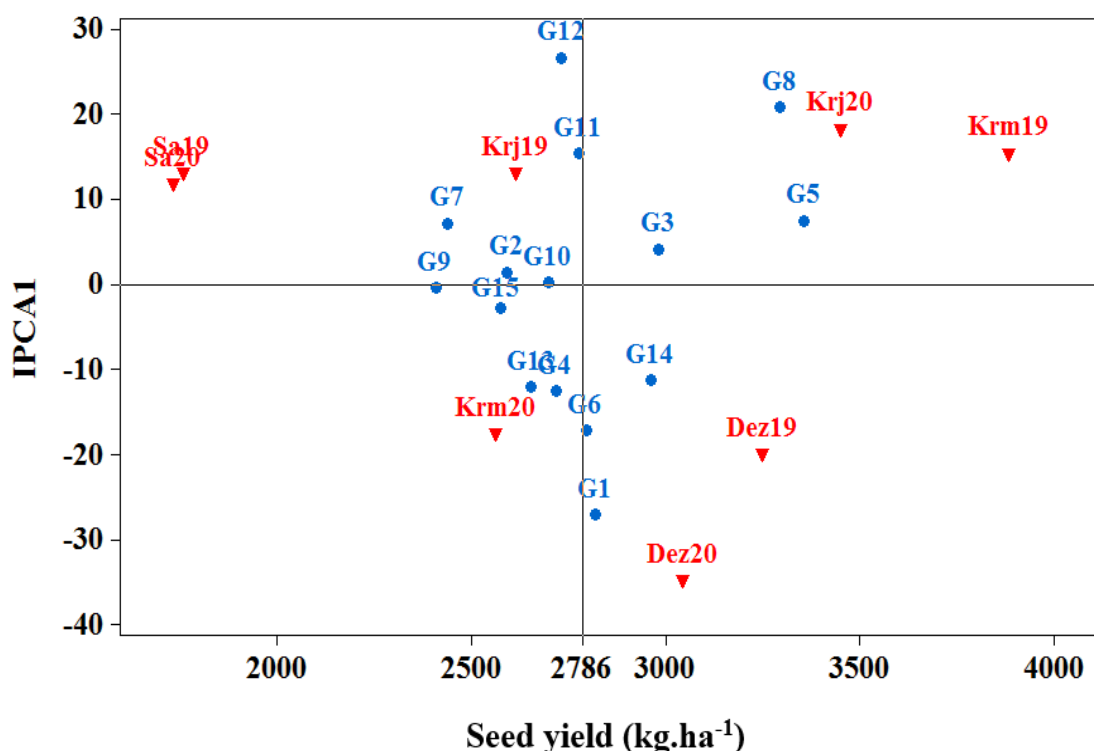
| محیط‌ها | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | IPCA1 | IPCA2 | IPCA3 | IPCA4 | IPCA5 | ASV |
|---------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| Krj19 | ۲۶۱۴ | ۱۳/۱۴ | -۱۱/۰۵ | -۲/۰۹ | -۱۶/۶۹ | ۷/۷۵ | ۲۶/۹۸ |
| Krj20 | ۳۴۴۹ | ۱۸/۳۷ | ۱/۱۶ | -۷/۱۰ | -۱۴/۵۶ | ۸/۰۷ | ۲۸/۹۳ |
| Sa19 | ۱۷۵۶ | ۱۳/۱۹ | ۲/۱۹ | ۲۰/۹۳ | ۳/۴۸ | -۱۴/۶۰ | ۲۱/۰۲ |
| Sa20 | ۱۷۳۱ | ۱۱/۸۶ | ۴/۳۱ | ۱۵/۵۳ | ۴/۵۸ | -۶/۲۱ | ۱۹/۸۳ |
| Krm19 | ۳۸۸۳ | ۱۵/۴۵ | ۱۵/۷۵ | -۲۱/۳۷ | ۲۰/۰۸ | ۵/۲۹ | ۳۴/۶۷ |
| Krm20 | ۲۵۶۲ | -۱۷/۴۴ | -۲۶/۷۷ | ۷/۹۷ | ۱۴/۱۱ | ۱۳/۱۸ | ۵۰/۲۱ |
| Dez19 | ۳۲۴۹ | -۱۹/۸۵ | -۱۱/۱۳ | -۲۱/۱۹ | -۴/۰۳ | -۲۰/۴۲ | ۳۵/۷۶ |
| Dez20 | ۳۰۴۳ | -۳۴/۷۳ | ۲۵/۵۴ | ۷/۳۱ | -۶/۹۸ | ۶/۹۴ | ۶۷/۷۵ |
| رتبه | | | | | | | میانگین رتبه |
| Krj19 | ۵ | ۲ | ۴ | ۱ | ۷ | ۴ | ۳/۷۱ |
| Krj20 | ۲ | ۶ | ۱ | ۲ | ۶ | ۵ | ۳/۷۱ |
| Sa19 | ۷ | ۳ | ۲ | ۶ | ۱ | ۷ | ۴/۰۰ |
| Sa20 | ۸ | ۱ | ۳ | ۵ | ۳ | ۲ | ۳/۲۹ |
| Krm19 | ۱ | ۴ | ۶ | ۸ | ۸ | ۱ | ۴/۷۱ |
| Krm20 | ۶ | ۵ | ۸ | ۴ | ۵ | ۶ | ۵/۸۶ |
| Dez19 | ۳ | ۷ | ۵ | ۷ | ۲ | ۸ | ۵/۴۳ |
| Dez20 | ۴ | ۸ | ۷ | ۳ | ۴ | ۳ | ۵/۲۹ |

یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) است. در شکل ۱ خط عمود در میانه بای‌پلات بیانگر میانگین عملکرد دانه کل دو سال آزمایش است. بنابراین محیط‌ها و ژنوتیپ‌های سمت راست این خط دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل هستند. با توجه به این مطلب ژنوتیپ‌های G1، G3، G5،

نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. محور افقی نشانگر اثر اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضربی

پایین بودند ولی ژنوتیپ‌های G3 و G5 به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد دانه بالا انتخاب شدند (شکل ۱). ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه کمتری داشته باشند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA1) باشند، برای کاشت در نواحی و مناطق ضعیف و کم‌بازده توصیه می‌شوند؛ به عبارتی این ژنوتیپ‌ها با مناطق ضعیف و کم‌بازده برهمکنش مثبت دارند (۲۵). در این مطالعه ژنوتیپ‌های G11 و G12 چنین وضعیتی را نشان می‌دهند.

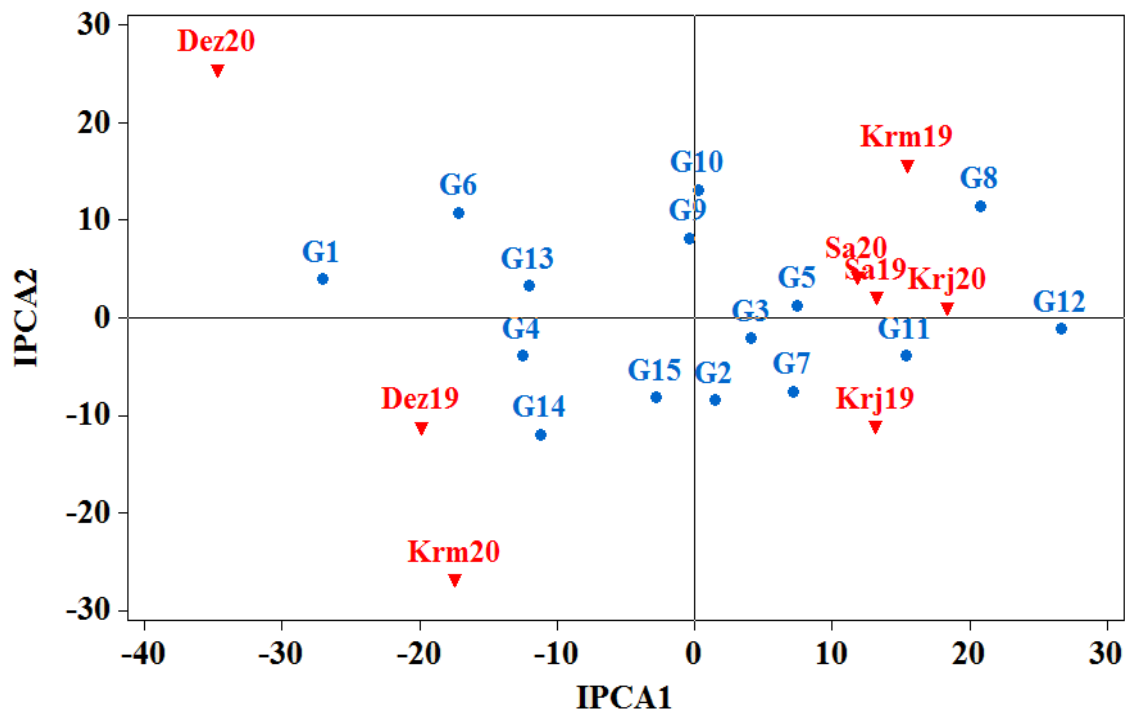
G6، G8 و G14 با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود واقع در میانه بای‌پلات، عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های G7 و G9 کم‌ترین میزان عملکرد دانه را داشتند. همچنین خط افقی در میانه بای‌پلات بیان‌گر عدم وجود برهمکنش است به این ترتیب ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که نزدیک این خط قرار دارند، نقش کم‌تری در ایجاد برهمکنش دارند. در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که از این خط فاصله دارند، دارای سهم بیشتر در ایجاد برهمکنش هستند. با توجه به این نکات، ژنوتیپ‌های G9، G10، G2، G15، G3، G7 و G5 دارای برهمکنش



شکل ۱- نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان و ۸ محیط
Figure 1. Biplot graph of mean seed yield and the first principle components of genotype × environment interaction for 15 sunflower genotypes and 8 environments.

عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی خوب شناخته شدند. همانطور که گفته شد جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی مناسب می‌باشند که دارای برهمکنش بزرگ باشند. با توجه به شکل ۲، در بین محیط‌ها، بیشترین میزان برهمکنش مربوط به محیط‌های Dez20 (دزفول سال دوم)، Krm20 (کرمانشاه سال دوم)، Krm19 (کرمانشاه سال اول)، Dez19 (دزفول سال اول) بود. به عبارت دیگر، این دو محیط (دزفول و کرمانشاه)، بیشترین تأثیر را در برهمکنش داشتند و به عنوان محیط‌های ایده‌آل جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها در آفتابگردان شناخته شدند.

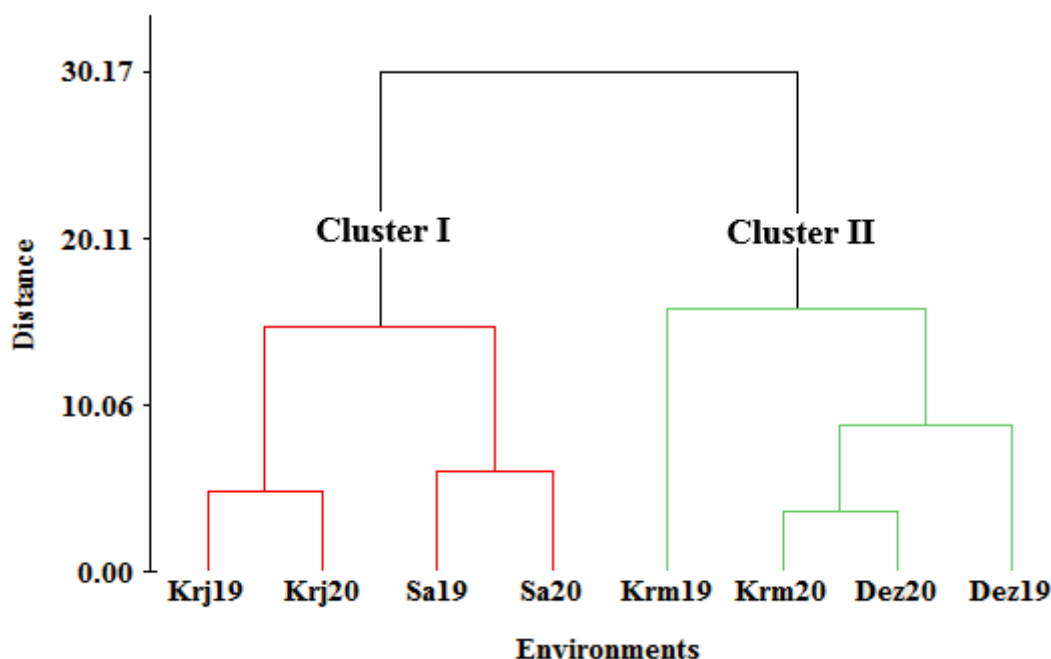
شکل ۲ نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این بای‌پلات در مجموع ۶۷/۲۴ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که سهم مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب برابر با ۴۷/۸۷ و ۱۹/۳۷ درصد بود. با توجه به شکل ۲، ژنوتیپ‌های G6، G8 و G14 دارای برهمکنش بزرگی بوده و به همین دلیل ناپایدار می‌باشند. ژنوتیپ‌های G3، G5، G2، G15 و G9 از برهمکنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند ولی ژنوتیپ‌های G3 و G5 به دلیل داشتن میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل، به



شکل ۲- نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان و ۸ محیط
Figure 2. Biplot graph of the first two principle components of genotype × environment interaction for 15 sunflower genotypes and 8 environments

کراس‌آوری نسبت به هم می‌باشند (۴۱،۴۰). بنابراین قرار گرفتن کرج و ساری در یک گروه نشان‌دهنده برهمکنش افزایشی یا غیرکراس‌آوری این دو مکان است. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری این ایستگاه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. لذا 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 در طی چند سال روی عملکرد آفتابگردان تأثیری نداشته و می‌توان آزمایشات بررسی ژنوتیپ‌های آفتابگردان را با تعداد سال کمتری انجام داد.

گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای رتبه میانگین عملکرد دانه محیط‌های مورد بررسی و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار برهمکنش، سه گروه از محیط‌ها را مشخص کرد (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Krj19 (کرج سال اول)، Krj20 (کرج سال دوم)، Sa19 (ساری سال اول) و Sa20 (ساری سال دوم) بود. چهار محیط Krm19 (کرمانشاه سال اول)، Krm20 (کرمانشاه سال دوم)، Dez19 (دزفول سال اول) و Dez20 (دزفول سال دوم) نیز در گروه دوم (Cluster II) قرار گرفتند (شکل ۲). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک گروه قرار می‌گیرند. در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای اثر متقابل متقاطع یا



شکل ۳- گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس رتبه میانگین عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط
Figure 3. Classification of the studied environments based on rank of mean seed yield and the first five principle components of genotype × environment interaction

به دلیل دارا بودن برهمکنش بزرگ، بیشترین تأثیر را در برهمکنش داشته و به عنوان محیط‌های ایده‌آل جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های آفتابگردان شناخته شدند. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به دو گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش مکان‌های کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول هر کدام در یک گروه بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالا این مکان‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و پنج مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و همچنین بر اساس پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ‌های G3 و G5 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند و برای مراحل بعدی تحقیقات یعنی آزمایشات تحقیقی ترویجی و کشت در شرایط زارعی جهت معرفی به عنوان رقم تجاری جدید انتخاب شدند. همچنین محیط‌های دزفول و کرمانشاه

منابع

1. Abakemal, D., H. Shimelis and J. Derera. 2016. Genotype-by-environment interaction and yield stability of quality protein maize hybrids developed from tropical-highland adapted inbred lines. *Euphytica*, 209: 757-769.
2. Ahmadi, J., B. Vaezi and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Evaluation of forage yield stability of advanced lines of grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, 8: 149-159 (In Persian).
3. Ahmadi, 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).
4. Akbarpour, O., H. Dehghani, B. Sorkhi and H. Gauch Jr. 2014. Evaluation of genotype × environment interaction in Barley (*Hordeum Vulgare* L.) based on AMMI model using developed SAS program. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16: 909-920.
5. Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, G. Shiresmaeili, F. Nasserghadimi, H. Khademhamzeh and A. Gholizadeh. 2021. Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 11: 95-108 (In Persian).
6. Ansarifard, I., K. Mostafavi, M. Khosroshahli, M. 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.

7. Babaei, H.R., H. Sabzi and N. Razmi. 2018. Pattern analysis of genotype and year interaction for grain yield in mutant lines of rice (*Oryza sativa* L.) using AMMI multivariate method. Iranian Journal of Field Crop Science, 50: 129-137 (In Persian).
8. Bocianowski, J., J. Niemann and K. Nowosad. 2019. Genotype-by-environment interaction for seed quality traits in interspecific cross-derived Brassica lines using additive main effects and multiplicative interaction. Euphytica, 215: 7.
9. Dehghani, M., M. Majidi, A. Mirlohi and G. Saeidi. 2016. Study of genotype by environment interaction in tall fescue genotypes and their polycross progenies in Iran based on AMMI model analysis. Crop and Pasture Science, 67: 792-799.
10. Eagles, H. and K.J. Frey. 1977. Repeatability of the stability-variance parameter in oats 1. Crop Science, 17: 253-256 (In Persian).
11. Ebadi, A.A., S. Abdollahi and H. Azizi. 2017. Pattern analysis of genotype and year interaction for grain yield in mutant lines of rice (*Oryza sativa* L.) using AMMI multivariate method. Iranian Journal of Field Crop Science, 47: 565-573 (In Persian).
12. Ebdon, J. and H. Gauch. 2002. AMMI analysis of national turfgrass performance trials. II. Cultivar recommendations. Crop Science, 42: 497-506
13. Ebrahimi, F., M.M. Majidi, A. Arzani and G. Mohammadi-Nejad. 2016. Oil and seed yield stability in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. Euphytica, 212: 131-144.
14. Esmaeilzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G.A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghadam, M. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S.M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. Cereal Research, 8: 333-344 (In Persian).
15. Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
16. Fallahi, H.A., S. Ebrahimnejad, H. Sabouri, I. Lakzadeh, M. Ghasemi and K. Shirali. 2018. Evaluation of genotype × interaction effects on grain yield of barely genotypes using additive main effects and multiplicative interactions (AMMI). Journal of Crop Breeding, 9: 144-151 (In Persian).
17. Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 287p.
18. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang M. S. and Gauch-Jr, H. G. (Eds.). Genotype by environment interaction. CRC Press, Boca Raton, New York. pp: 85-122.
19. Gholizadeh, A., M. Ghaffari, K. Payghamzadeh and S. Kia. 2021. Study on relationships between yield and other agronomic traits and identification of the superior hybrids in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Crop Breeding, 13(37): 171-184 (In Persian).
20. 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: 79.
21. Inabangan-Asilo, M.A., B.M. Swamy, A.F. Amparado, G.I.L. Descalsota-Empleo, E.C. Arocena and R. Reinke. 2019. Stability and G×E analysis of zinc-biofortified rice genotypes evaluated in diverse environments. Euphytica, 215: 61.
22. 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).
23. 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.
24. Jockovic, M., S. Cvejic, S. Jicic, 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.
25. Khomari, A., K. Mostafavi and A. Mohammadi. 2017. Stability study of yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars using AMMI method. Journal of Crop Breeding, 9: 117-124 (In Persian).
26. 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).
27. MINITAB, INC. 2005. Minitab user's guide, ver 14. Minitab Inc, Harrisburg, Pennsylvania, USA.
28. 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).
29. Nowosad, K., A. Liersch, W. Popławska and J. Bocianowski. 2016. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica, 208: 187-194.
30. Purchase, J., H. Hatting and C. Van Deventer. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil, 17: 101-107.

31. Sadeghzadeh, B., R. Mohammadi, H. Ahmadi, G.R. Abediasl, M.M. Ahmadi, M. Mohammadfam, N. Bahrami, M.S. Khaledian and A.A. Naserian. 2018. GGE biplot and AMMI application in the study of adaptability and grain yield stability of durum lines under dryland conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11: 241-260 (In Persian).
32. Safavi, S. and S. Bahraminejad. 2017. The evaluation of genotype \times environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding*, 922: 125-132 (In Persian).
33. SAS, Inc. 2011. Base SAS9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary
34. Shiri, M.R. and T. Bahrampour. 2015. Genotype \times environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5: 83-94 (In Persian).
35. SPSS, Inc., 2010. SPSS 20. Users Guided. Chicago, USA.
36. Taherian, M., M.R. Bihamta, S.A. Peyghambari, H. Alizadeh and A. Rasoulnia. 2019. Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 11: 93-103 (In Persian).
37. Temesgen, T., G. Keneni, T. Sefera and M. Jarso. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3: 258-268.
38. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, M. Armion, A. Mehraban, T. Hossein-Pour and M. Dorii. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45: 500-511.
39. 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 \times environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, 215: 63.
40. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
41. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.

Pattern analysis of Genotype \times Environment Interaction for Seed Yield in Sunflower using Multivariate Method of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction

Mehdi Ghaffari¹, Amir Gholizadeh², Seyyed Abbasali Andarkhor³, Asadollah Zareei Siahbidi⁴, Seyed Ahmad Kalantar Ahmadi⁵, Farnaz Shariati⁶ and Abbas Rezaeizad⁷

1- Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- 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 (Corresponding author: a.gholizadeh@areeo.ac.ir)

3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

4- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

5- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

6- Assistant Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

7- Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

Received: June 9, 2021

Accepted: August 21, 2021

Abstract

The genotype \times environment interaction is a major challenge in the study of quantitative traits because it reduces yield stability in different environments and also it complicates the interpretation of genetic experiments and is difficult to make predictions. In this regard, to analysis of genotype \times environment interaction and determine the yield stability of sunflower genotypes, 11 new sunflower hybrids along with 4 cultivars were evaluated in a randomized complete block design with four replications in four experimental field stations (Karaj, Sari, Kermanshah and Dezful) during two cropping seasons. In order to analysis of genotype \times environment interaction was used the multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). The results of combined analysis of variance indicated that 57.68, 7.60 and 16.93 percent of total variation were related to the environment, genotype and genotype \times environment interaction effects, respectively. Also, the results showed that the first five principal components of AMMI were significant and described 97.64% of the variance of genotype \times environment interaction. Based on biplot graph of mean seed yield and the first interaction principle, the genotypes G3 and G5 were identified as a high yield and stable genotypes. Also, the Dezful and Kermanshah environments due to their high interaction were recognized as the most ideal environments for distinguishing and separating sunflower genotypes. The cluster analysis of the studied environments was divided into two groups. According to the results of cluster analysis, Karaj, Sari, Kermanshah and Dezful locations were located in a group that indicates these locations had the high predictability and repeatability power.

Keywords: Hybrid, Seed yield, Sunflower, Stability