

تجزیه برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در ارقام و لاین‌های کلزای زمستانه با استفاده از روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهم کنش ضرب‌پذیر

بهرام علیزاده^{۱*}، عباس رضایی‌زاد^۲، محمد یزداندوست همدانی^۳، غلامحسین شیراسماعیلی^۴،

فرشاد ناصرقدیمی^۵، حمیدرضا خادم‌حمزه^۶ و امیر قلی‌زاده^۷

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۹)

چکیده

بررسی ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط محیطی متفاوت به به‌نژادگران در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار کمک می‌کند. در این راستا تعداد ۱۳ لاین و رقم کلزای زمستانه در شش ایستگاه پژوهشی مناطق سرد و معتدل سرد کشور (اصفهان، همدان، کرج، کرمانشاه، خوی و زرقان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور تجزیه برهم کنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهم کنش ضرب‌پذیر (AMMI) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که به ترتیب ۵۰/۲۶، ۴/۶۸ و ۲۳/۴۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، اثر ژنوتیپ و برهم کنش ژنوتیپ × محیط بود. نتایج نشان داد که پنج مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۸۵/۴ درصد از تغییرات برهم کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهم کنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان داد که ژنوتیپ G13 با عملکردی بیش از میانگین و کمترین مقدار نقش در ایجاد برهم کنش از نظر اولین مؤلفه اصلی برهم کنش به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و با عملکرد بالا شناخته شد. همچنین محیط‌های زرقان و خوی به دلیل داشتن برهم کنش بالا، به‌عنوان ایده‌آل‌ترین محیط‌ها برای تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه شناخته شدند. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش مکان‌های اصفهان، همدان و زرقان هر کدام در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این مکان‌ها نسبت به سایر مکان‌ها است. در مجموع، ژنوتیپ G13 با داشتن میانگین عملکرد دانه ۴۰۸۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار و پایداری عمومی بالا برای کشت در اقلیم سرد و معتدل سرد کشور پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهم کنش ضرب‌پذیر، برهم کنش ژنوتیپ × محیط، عملکرد دانه، کلزا

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 زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه ایران
۳. عضو هیئت علمی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴. بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۵. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی
۶. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۷. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: alizadeh.bahram@gmail.com

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات مهم‌ترین منابع تأمین انرژی هستند. کلزا زراعی با نام علمی (*Brassica napus L.*) یکی از دانه‌های روغنی است که بعد از سویا به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید کننده روغن خوراکی به‌شمار می‌رود (۱۰). بیش از ۸۵-۹۰ درصد روغن خوراکی کشور از طریق واردات و با صرف هزینه‌های بالا تأمین می‌شود (۴). کلزا به‌دلیل ویژگی‌های خاصی همچون سازگاری با شرایط آب و هوایی متنوع، دارا بودن ژنوتیپ‌های پاییزه و بهاره، کنترل علف‌های هرز، ارزش تناوبی بالا، عملکرد روغن بالا و تأمین کنجاله به‌عنوان نقطه امید برای تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور به‌شمار می‌آید (۴). به‌دلیل وجود محصولات رقیب و محدودیت اراضی زراعی، یک از راه حل‌های مؤثر در افزایش تولید کلزا، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ژنوتیپ‌های پرمحصول خواهد بود. بنابراین به‌نژادگران کلزا باید به‌دنبال اصلاح و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار باشند.

یکی از مهم‌ترین مسائلی که هنگام آزادسازی ژنوتیپ‌های جدید دارای اهمیت است، بحث پایداری عملکرد و اثری است که محیط روی ژنوتیپ‌های گیاهی دارد. پایداری عملکرد به کمترین خسارت ناشی از تغییرات آب و هوایی و به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد خود در دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها گفته می‌شود (۱۷). کشت ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف باعث تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با نقش کمتر در ایجاد برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط انتخاب می‌شوند. وجود برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی شده و سودمندی وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده را کاهش می‌دهد. بنابراین بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

روش‌های زیادی برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط توسط پژوهشگران مختلف به‌کار برده شده است. این روش‌ها

شامل دو دسته اصلی تک‌متغیره و چندمتغیره هستند (۱۱). در میان روش‌های چندمتغیره، روش اثر اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر AMMI (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction) به‌عنوان روشی مناسب و کارا برای تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط زیاد استفاده شده است. روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. در این روش اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط (اثرهای 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 بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که این روش اثرات اصلی و اثرات متقابل را از یکدیگر تفکیک و بخش اعظمی از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند، بنابراین توسط پژوهشگران زیادی به‌منظور تجزیه پایداری و تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط استفاده شده است (۱۲). همچنین این روش در پایه‌ریزی برنامه‌های به‌نژادی بلندمدت در خصوص سازگاری خصوصی و عمومی، انتخاب محیط ایده‌آل و گروه‌بندی محیط‌ها بسیار مناسب است (۱۹). نووساد و همکاران (۲۹) با استفاده از روش AMMI در ژنوتیپ‌های کلزا، 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 است. استفاده از روش AMMI برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف از جمله جو (۳)، باقلا (۳۹)، ذرت (۱)، فستوکا (۹)، گلرنگ (۱۳)، یولاف (۳۴)، چغندر قند (۲۰)، سویا (۵)، گندم نان (۱۴)، گندم دوروم (۲۸)، نخود (۷)، آفتابگردان (۲) و برنج (۲۱) گزارش شده است.

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از طریق روش چندمتغیره AMMI در ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه و شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار برای معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های سرد و معتدل سرد کشور و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۹ لاین پیشرفته کلزای زمستانه که از آزمایش‌های مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته کلزای زمستانه در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۲ انتخاب شده بودند، به همراه ارقام اکاپی، احمدی، نیما و نفیس در ایستگاه‌های پژوهشی کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، همدان، کرج، کرمانشاه، خوی و زرقان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) ارزیابی شدند. نام و مبدأ ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش و میانگین عملکرد مناطق در جدول ۲ بیان شده است. مشخصات فنی و زراعی دوازده آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف پنج متری با فاصله بین ردیف‌های ۳۰ سانتی‌متر بود. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری نشتی انجام شد. کشت بر اساس دستورالعمل کشت کلزا در تاریخ‌های توصیه شده انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (برای خرد کردن کلوخه‌ها) و مال (برای تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمایش خاک اقدام به کوددهی شد. پس از آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار پتاسیم و فسفر مورد نیاز به ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به زمین داده شد. کود ازته نیز به صورت سرک در سه مرحله کاشت، شروع ساقه رفتن و زمان پیدایش اولین غنچه‌های گل به میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. در طول فصل رشد و نمو عملیات زراعی به‌طور مرتب انجام شد و از سموم سیستمیک دیماکارون (نیم لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) برای کنترل شته مومی کلم استفاده شد. در زمان رسیدن فیزیولوژیک، برداشت محصول هر رقم از دو خط میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت انجام شد و پس از تبدیل، عملکرد دانه در هکتار (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقیمانده داده‌ها به روش آزمون کولموگروف-اسیمرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۳۷) 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 چندمتغیره AMMI استفاده شد. مدل تجزیه AMMI به صورت زیر است (۱۸ و ۱۹).

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

در رابطه بالا، Y_{ger} تکرار r از عملکرد ژنوتیپ g در محیط e ، μ میانگین کل، σ_g و β_e به ترتیب اثر اصلی ژنوتیپ g (اختلاف میانگین ژنوتیپ g از میانگین کل) و اثر اصلی محیط e (اختلاف میانگین محیط e از میانگین کل)، λ_n مقدار منفرد برای مؤلفه اصلی n که برابر با جذر مقدار ویژه (Eigen value) مربوط به همان مؤلفه اصلی است، γ_{gn} بردار ویژه (Eigen vector) ژنوتیپ g از مؤلفه اصلی n اثر متقابل، δ_{en} بردار ویژه محیط e از مؤلفه اصلی n اثر متقابل، ρ_{ge} مانده مدل ضرب‌پذیر مربوط به ژنوتیپ g در محیط e ، ε_{ger} مانده مدل جمع‌پذیر مربوط به تکرار r از عملکرد ژنوتیپ g در محیط e و N تعداد مؤلفه‌های اصلی مدل AMMI است (۱۹).

به منظور تعیین مؤلفه‌های اصلی مؤثر لازم برای مدل و به دست آوردن بهترین مدل در AMMI از میانگین مربعات اختلاف پیش‌بینی (RMSPD; Root Mean Square Predictive Difference) استفاده شد. کمترین مقدار RMSPD نشانگر قابل پیش‌بینی‌تر بودن مدل است (۱۲). این عمل ۱۰۰۰ مرتبه (با انتخاب تکرارها به‌طور تصادفی) انجام شد و در نهایت میانگین RMSPD محاسبه شده و بر اساس کمترین مقدار آن، بهترین مدل تعیین شد.

در روش‌های معمول تجزیه واریانس، از آزمون F برای معنی‌دار بودن منابع تغییرات استفاده می‌شود. با وجود این، روش‌ها به شرط نرمال بودن و مستقل بودن، برای مدل‌های

جدول ۱. شماره، نام و مبدأ ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه مورد بررسی

شماره	کد	نام/شجره	منشأ
۱	۱G	۱-۹۲HW-	ایران
۲	۲G	۱-۹۲BAL-	ایران
۳	۳G	۳-۹۲BAL-	ایران
۴	۴G	۴-۹۲BAL-	ایران
۵	۵G	۶-۹۲BAL-	ایران
۶	۶G	۸-۹۲BAL-	ایران
۷	۷G	۲-۹۲HW-	ایران
۸	۸G	۱۱-۹۲BAL-	ایران
۹	۹G	۳-۹۲HW-	ایران
۱۰	۱۰G	اکاپی	فرانسه
۱۱	۱۱G	احمدی	ایران
۱۲	۱۲G	نیما	ایران
۱۳	۱۳G	نقیس	ایران

جدول ۲. ویژگی‌های اقلیمی، خاک و میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه

کد	مکان	فصل رشدی	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	نوع خاک
Esf16	اصفهان	۱۳۹۴-۹۵	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۵'	۱۵۴۵	۱۳۸	سیلتی رسی
Esf17	اصفهان	۱۳۹۵-۹۶					
Hmd16	همدان	۱۳۹۴-۹۵	۴۸°۴۰'	۳۵°۱۲'	۱۷۵۸	۳۰۸	شنی لومی
Hmd17	همدان	۱۳۹۵-۹۶					
Krj16	کرج	۱۳۹۴-۹۵	۵۰°۵۴'	۳۵°۵۶'	۱۳۱۲	۳۰۰	لومی رسی
Krj17	کرج	۱۳۹۵-۹۶					
Krm16	کرمانشاه	۱۳۹۴-۹۵	۴۷°۲۶'	۳۴°۰۸'	۱۳۴۶	۴۶۸	سیلتی رسی
Krm17	کرمانشاه	۱۳۹۵-۹۶					
Khy16	خوی	۱۳۹۴-۹۵	۴۴°۵۷'	۳۸°۳۴'	۱۱۰۳	۲۹۸	رسی لومی
Khy17	خوی	۱۳۹۵-۹۶					
Zrg16	زرقان	۱۳۹۴-۹۵	۵۲°۴۲'	۲۹°۴۷'	۱۵۹۶	۳۰۵	رسی لومی
Zrg17	زرقان	۱۳۹۵-۹۶					

مربوطه در نظر گرفته نمی‌شود)، ریشه‌های مشخصه توزیع X^2 ندارند و باید آزمون F را تصحیح کرد (۱۸). بنابراین برای

خطی صحیح هستند. اما چون روش AMMI، مدل کاهشی است (یعنی تمام مؤلفه‌های اصلی و در نتیجه ریشه‌های مشخصه

واریانس محیط‌ها قابل توجه است. نوساد و همکاران (۲۹) نیز در کلزا ۶۹/۸۲ درصد تغییرات را به محیط نسبت دادند. همچنین سایر پژوهشگران در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولات دیگر نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به‌خود اختصاص داده است (۲۳، ۳۱، ۳۶ و ۴۰). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه برهم کنش ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به‌طور معمول به‌دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آنها در محیط‌های مختلف است (۱۵ و ۲۲).

با توجه به معنی‌دار شدن برهم کنش ژنوتیپ × محیط در این آزمایش، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و تجزیه برهم کنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره AMMI استفاده شد. به‌منظور بررسی تعداد مؤلفه‌های اصلی برهم کنش معنی‌دار از آزمون F تصحیح شده یعنی F_{GHI} استفاده شد. نتایج نشان داد که چهار مؤلفه اصلی برهم کنش در سطح احتمال یک درصد و مؤلفه پنجم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. به‌منظور بررسی بهترین مدل AMMI نیز از آماره RMSPD استفاده شد. طبق نتایج، کمترین مقدار آماره RMSPD مربوط به مؤلفه دوم بود که نشان‌دهنده قابل پیش‌بینی‌تر بودن این مدل است (جدول ۳). پنج مؤلفه اصلی اول در مجموع ۸۵/۴ درصد از تغییرات مربوط به برهم کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که سهم هر یک به‌ترتیب برابر با ۲۹/۷۴، ۱۹/۹۸، ۱۷/۱۲، ۱۱/۰۹ و ۷/۴۷ درصد بود (جدول ۳). بوکیانوسکی و همکاران (۸) از روش AMMI به‌منظور تجزیه برهم کنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های کلزا استفاده و گزارش کردند که سه مؤلفه اول ۸۵/۳۸ درصد از مجموع مربعات برهم کنش را توجیه کردند. همچنین نوساد و همکاران (۲۹) در بررسی برهم کنش ژنوتیپ × محیط در ۲۵ ژنوتیپ کلزای زمستانه با استفاده از

تخمین مناسب آثار ضرب‌پذیر، آزمون F_{GHI} برای مدل‌های AMMI یا هر مدل ضرب‌پذیر دیگر مثل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه تشخیص استفاده می‌شود. در این تحقیق برای برای محاسبه RMSPD و F_{GHI} از برنامه نوشته شده در نرم‌افزار SAS (۳) استفاده شد.

برای محاسبه پایداری ژنوتیپ‌ها از پارامتر پایداری (AMMI Stability Value) ASV که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود، استفاده شد (۳۲):

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

در رابطه بالا SSIPCA1 و SSIPCA2 به‌ترتیب مجموع مربعات مربوط به اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهم کنش ژنوتیپ × محیط، IPCA1 و IPCA2 به‌ترتیب مربوط به مقدار نمره‌های مؤلفه اصلی اول و دوم برهم کنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها است. در این پژوهش برای تجزیه AMMI از نرم‌افزار SAS ver 9.1 (۳۵) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver 14 (۲۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب ویژگی عملکرد دانه نشان داد که اختلاف بین محیط‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × 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 داد که عمده تغییرات ویژگی عملکرد دانه به‌وسیله عامل محیط ایجاد شده (۵۰/۲۶ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب ۴/۶۸ و ۲۳/۴۹ درصد از تغییرات را به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). با توجه به اینکه محیط‌های آزمایش گستره وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی، نوع خاک) را دارا بودند، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به

جدول ۳. تحلیل واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه بر اساس مدل AMMI در شش مکان و دو سال (۹۶-۱۳۹۴)

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	TSS ^a /%	GE ^b %	RMSPD ^c	F _{GH} ^d
محیط	۱۱	۲۴۴۵۸۱۹۸۵	۲۲۲۳۴۷۲۶**	۵۰/۲۶			
تکرار درون محیط	۲۴	۲۱۴۳۲۵۵۵	۸۹۳۰۲۳				
ژنوتیپ	۱۲	۲۲۷۸۵۸۲۰	۱۸۹۸۸۱۸**	۴/۶۸			
ژنوتیپ × محیط	۱۳۲	۱۱۴۳۰۲۶۴۱	۸۶۵۹۲۹**	۲۳/۴۹			
مؤلفه اصلی اول	۲۲	۳۳۹۸۱۷۹۳۸	۱۵۴۴۹۰۶**		۲۹/۷۴	۶۵۲/۰	۲/۴۹**
مؤلفه اصلی دوم	۲۰	۲۲۸۳۸۴۳۸	۱۱۴۱۹۲۲**		۱۹/۹۸	۶۵۰/۲	۲/۰۰**
مؤلفه اصلی سوم	۱۸	۱۹۵۷۰۰۱۵	۱۰۸۷۲۲۳**		۱۷/۱۲	۶۵۲/۶	۱/۶۰**
مؤلفه اصلی چهارم	۱۶	۱۲۶۸۰۱۷۰	۷۹۲۵۱۱**		۱۱/۰۹	۶۶۰/۴	۱/۵۶**
مؤلفه اصلی پنجم	۱۴	۸۵۴۱۶۵۹	۶۱۰۱۱۹**		۷/۴۷	۶۶۳/۳	۱/۲۸*
باقیمانده	۴۲	۱۶۶۸۴۴۲۱	۳۹۷۲۴۸ ^{ns}		۱۴/۶۰		
خطا	۲۸۸	۸۳۵۳۴۰۹۲	۲۹۰۰۴۹				
کل	۴۶۷	۴۸۶۶۳۷۰۹۳					

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱، a مجموع مربعات توجیه شده (درصد)، b اثر متقابل توجیه شده (درصد)، c میانگین مربعات اختلاف پیش‌بینی و d آزمون F تصحیح شده

پایدار با عملکرد دانه بالا شناخته شد. قابل توجه است که ژنوتیپ G13 بالاترین میانگین عملکرد دانه (۴۰۸۶/۰۲) کیلوگرم در هکتار) را در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی را نیز به خود اختصاص داد. همچنین ژنوتیپ G11 با داشتن بالاترین مقدار ASV و کمترین میانگین عملکرد دانه (۳۲۶۴/۴۰) کیلوگرم در هکتار) به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۴). بیکر (۶) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرده است. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیکی) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنی است که ژنوتیپ پایدار عملکرد غیر قابل تغییری در میان محیط‌ها دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نیست. درحالی که بسیاری از به‌نژادگران مفهوم دینامیکی (زراعی) پایداری را برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. مطابق این مفهوم پایداری، یک پاسخ پیش‌بینی‌پذیر به عوامل محیطی وجود دارد یا به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی هستند.

در این آزمایش به نظر می‌رسد که پارامتر پایداری ASV بیشتر از مفهوم دینامیکی (زراعی) پایداری بهره برده و به این

روش AMMI، بیان کردند که سهم سه مؤلفه اصلی در توجیه برهم‌کنش ۹۳/۷۵ درصد است.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و مقادیر نمره‌های پنج مؤلفه اصلی ژنوتیپ × محیط (IPCA_k) و پارامتر پایداری ASV در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۳۲۶۴/۴۰ تا ۴۰۸۶/۰۲ با میانگین کل ۳۵۸۳/۵۹ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های G11 و G13 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G1، G2، G5، G8، G12 و G13 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 برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده است (۱۶، ۲۵، ۳۳ و ۳۸). 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 G13 کمترین مقدار ASV را به خود اختصاص داد و با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش، به عنوان ژنوتیپ

جدول ۴. میانگین عملکرد، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه ژنوتیپ‌های کلزا

ژنوتیپ	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	IPCA5	ASV
G1	۳۷۴۹	۷/۹۶	-۲۲/۵۷	۲/۴۹	-۳/۸۹	۰/۹۰	۲۹/۲۰
G2	۳۸۲۹	۱۹/۲۱	۳/۳۱	۰/۶۳	-۱۱/۸۲	۲۵/۴۰	۲۳/۷۸
G3	۳۵۱۳	-۱۲/۲۹	۴/۳۷	-۱۱/۹۲	-۲۷/۰۵	-۱۲/۱۸	۱۵/۹۱
G4	۳۳۰۹	۱۳/۹۳	۱۵/۴۱	-۲۸/۸۰	۶/۳۲	-۳/۴۲	۲۵/۳۴
G5	۳۶۶۴	۹/۰۹	-۱۹/۵۴	۵/۲۸	-۱۵/۵۴	-۶/۷۸	۲۶/۲۹
G6	۳۳۸۲	۶/۶۰	۱۷/۴۹	-۱۲/۹۷	۸/۸۰	۷/۲۸	۲۲/۸۰
G7	۳۳۷۵	۱۰/۷۷	۱۷/۰۴	۲۶/۱۱	-۵/۱۱	-۱۰/۵۱	۲۴/۵۹
G8	۳۶۸۱	-۱۵/۰۴	۰/۶۲	-۶/۲۱	-۷/۸۴	۵/۴۲	۱۸/۳۷
G9	۳۵۷۶	-۲۸/۰۵	۰/۴۳	۹/۲۶	۶/۹۰	۱۶/۱۴	۳۴/۲۲
G10	۳۵۰۶	-۳/۱۵	-۸/۳۸	-۹/۵۸	۱۵/۶۹	-۱۸/۰۳	۱۰/۹۲
G11	۳۲۶۴	-۲۸/۸۳	-۱۰/۴۲	-۱/۲۳	۹/۰۳	۱/۴۹	۳۷/۴۰
G12	۳۶۵۲	۲۲/۰۷	-۱۹/۱۵	۵/۷۹	۱۷/۱۳	۱/۵۱	۳۵/۶۵
G13	۴۰۸۶	-۲/۲۶	-۶/۴۰	۲۱/۱۵	۷/۳۶	-۷/۲۴	۸/۲۸
رتبه	میانگین رتبه						
G1	۳	۴	۱۳	۳	۱	۱	۵/۰۰
G2	۲	۱۰	۳	۱	۹	۱۳	۶/۲۹
G3	۸	۷	۴	۹	۱۳	۱۰	۷/۷۱
G4	۱۲	۸	۸	۱۳	۳	۴	۸/۰۰
G5	۵	۸	۱۲	۴	۱۰	۶	۷/۲۹
G6	۱۰	۳	۱۰	۱۰	۷	۸	۷/۵۷
G7	۱۱	۶	۹	۱۲	۲	۹	۸/۰۰
G8	۴	۹	۲	۶	۶	۵	۵/۱۴
G9	۷	۱۲	۱	۷	۴	۱۱	۷/۵۷
G10	۹	۲	۶	۸	۱۱	۱۲	۷/۱۴
G11	۱۳	۱۳	۷	۲	۸	۲	۸/۲۹
G12	۶	۱۱	۱۱	۵	۱۲	۳	۸/۵۷
G13	۱	۱	۵	۱۱	۵	۷	۴/۴۳

محاسبه شده است، نشان داد که ژنوتیپ‌های G1 و G13 با کمترین مقدار ASR پایدارترین و ژنوتیپ‌های G11 و G12 بالاترین مقدار ASR ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). میانگین عملکرد دانه محیط‌ها به همراه مقادیر پنج مؤلفه اصلی برهم کنش محیطی و پارامتر پایداری ASV برای بررسی پایداری محیط‌ها در جدول ۵ نمایش داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه محیطی به ترتیب مربوط به محیط‌های Hmd17 (همدان سال دوم با مقدار ۴۶۹۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و Krj17 (کرج سال دوم با مقدار ۱۸۰۸/۶۷

دلیل ژنوتیپ پایدار (G13) انتخاب شده به وسیله این پارامتر از عملکرد بالایی نیز برخوردار است. به این ترتیب در این مطالعه جنبه بررسی دینامیکی (زراعی) پایداری این پارامتر غالب بوده و به نظر می‌آید که معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه است. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز پارامتر پایداری ASV را دارای مفهوم دینامیکی (زراعی) پایداری معرفی کرده‌اند (۲۴ و ۳۰). پارامتر میانگین رتبه (ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار

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

محیط‌ها	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	IPCA5	ASV	رتبه
Esf16	۳۴۳۷	-۲/۵۲	-۰/۶۶	۱۸/۲۴	۲۱/۲۱	۱۰/۰۹	۳/۱۸	۹
Esf17	۳۵۵۳	۱۵/۰۴	-۷/۹۵	-۳۲/۳۴	۱۳/۲۲	-۸/۵۹	۲۰/۷۵	۶
Hmd16	۴۰۴۹	۸/۵۳	-۶/۶۵	۱۴/۸۸	-۸/۸۶	-۴/۰۹	۱۳/۲۰	۴
Hmd17	۴۶۹۸	۱۲/۷۸	-۲/۲۹	۱۱/۷۰	-۵/۵۴	-۵/۹۷	۱۵/۸۴	۱
Krj16	۴۱۶۵	۰/۰۷	-۲۲/۹۷	۴/۹۲	۱۰/۷۵	-۳/۵۷	۲۸/۰۲	۳
Krj17	۱۸۰۹	۴/۷۶	۱۵/۲۱	-۱۵/۵۰	۱۰/۰۵	۴/۹۱	۱۹/۴۴	۱۲
Krm16	۳۰۷۹	۹/۷۱	۰/۰۲	۱۳/۶۱	-۱۲/۸۶	۸/۲۴	۱۱/۸۵	۱۰
Krm17	۳۹۵۴	۱۳/۰۱	۲۸/۱۲	۷/۸۴	۱/۹۹	-۲۰/۸۳	۳۷/۷۹	۷
Khy16	۲۹۵۵	-۱۹/۷۲	۱۲/۱۷	۱/۴۳	-۲۵/۶۰	۰/۷۴	۲۸/۲۷	۵
Khy17	۳۵۳۱	-۲۱/۴۲	۱۶/۸۴	-۰/۸۲	۹/۳۸	۲۰/۶۹	۳۳/۲۴	۷
Zrg16	۴۲۹۳	۱۷/۸۱	-۱۹/۲۵	-۹/۰۷	-۱۳/۸۹	۱۴/۸۶	۳۱/۹۹	۱۱
Zrg17	۳۴۸۲	-۳۸/۰۳	-۱۷/۱۵	-۱۴/۸۸	۰/۱۴	-۱۶/۴۸	۵۰/۸۹	۸
رتبه	میانگین رتبه							رتبه
Esf16	۹	۲	۲	۱۱	۱۱	۸	۱	۶/۲۹
Esf17	۶	۸	۵	۱۲	۹	۷	۶	۷/۵۷
Hmd16	۴	۴	۴	۸	۴	۳	۳	۴/۲۹
Hmd17	۱	۶	۳	۶	۳	۵	۴	۴/۰۰
Krj16	۳	۱	۱۱	۳	۷	۲	۷	۴/۸۶
Krj17	۱۲	۳	۷	۱۰	۶	۴	۵	۶/۷۱
Krm16	۱۰	۵	۱	۷	۸	۶	۲	۵/۵۷
Krm17	۵	۷	۱۲	۴	۲	۱۲	۱۱	۷/۵۷
Khy16	۱۱	۱۰	۶	۲	۱۲	۱	۸	۷/۱۴
Khy17	۷	۱۱	۸	۱	۵	۱۱	۱۰	۷/۵۷
Zrg16	۲	۹	۱۰	۵	۱۰	۹	۹	۷/۷۱
Zrg17	۸	۱۲	۹	۹	۱	۱۰	۱۲	۸/۷۱

داشتن بالاترین مقدار پارامتر ASV به‌عنوان 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

کیلوگرم در هکتار) بود. محیط‌های Esf16 (اصفهان سال اول)، Krm16 (کرمانشاه سال اول)، Hmd16 (همدان سال اول) و Hmd17 (همدان سال دوم) با داشتن کمترین مقدار پارامتر ASV به‌عنوان پایدارترین و محیط‌های Zrg16 (زرقان سال اول)، Zrg17 (زرقان سال دوم)، Khy16 (خوی سال اول)، Khy17 (خوی سال دوم)، Krm17 (کرمانشاه سال دوم) با

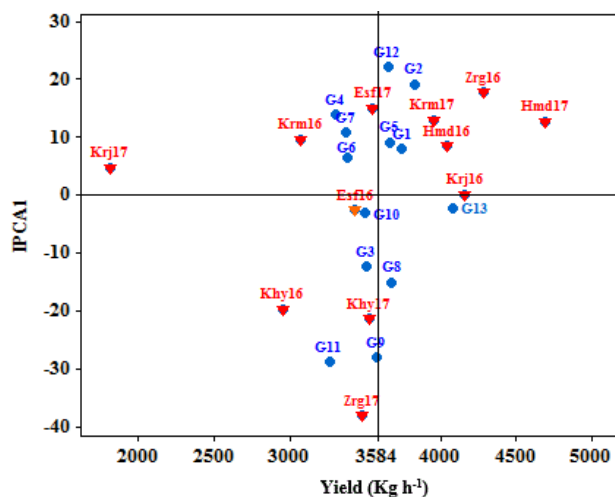
G7 و G6 چنین وضعیتی را نشان می‌دهند. همان‌طور که گفته شد برای تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی مناسب هستند که دارای برهم کنش بزرگ باشند. با توجه به شکل ۱، محیط‌های Zrg17 (زرقان سال دوم)، Khy17 (خوی سال دوم)، Khy16 (خوی سال اول) و Zrg16 (زرقان سال اول) دارای سهم بالا در ایجاد برهم کنش بودند. به عبارت دیگر، این محیط‌ها با توجه به مدل AMMI-1، بیشترین تأثیر را در برهم کنش داشتند و به عنوان محیط‌های ایده‌آل برای تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها در کلزای زمستانه شناخته شدند.

شکل ۲ نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهم کنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این بای‌پلات در مجموع ۴۹/۷۲ درصد از تغییرات مربوط به برهم کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد که سهم مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب برابر با ۲۹/۷۴ و ۱۹/۹۸ درصد بود. با توجه به شکل ۲، HC از نظر بای‌پلات AMMI-2 ژنوتیپ‌های G11، G12، G4 و G7 دارای سهم بالا در ایجاد برهم کنش بوده و به همین دلیل ناپایدار محسوب می‌شوند. ژنوتیپ‌های G13 و G10 از برهم کنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و بنابراین دارای سازگاری عمومی بوده ولی ژنوتیپ G13 به دلیل داشتن میانگین عملکرد دانه بالا (۴۰۸۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار)، به عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی خوب شناخته شد. در بین محیط‌ها نیز بیشترین میزان برهم کنش مربوط به محیط‌های Zrg16 (زرقان سال اول)، Zrg17 (زرقان سال دوم)، Khy16 (خوی سال اول)، Khy17 (خوی سال دوم)، Krm17 (کرمانشاه سال دوم) و کمترین میزان برهم کنش مربوط به محیط Esf16 (اصفهان سال اول) بود (شکل ۲).

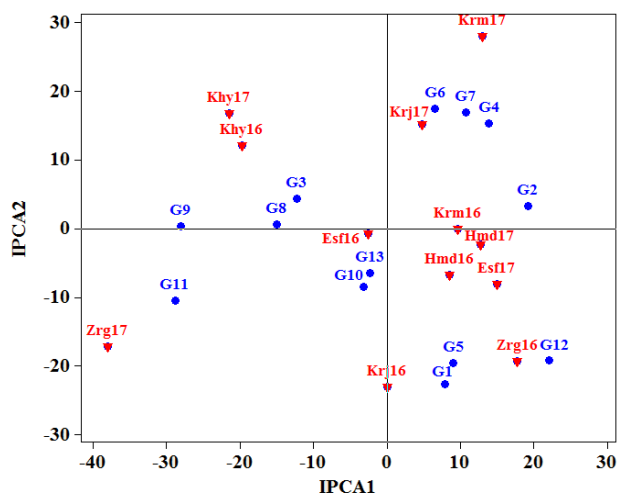
گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای رتبه میانگین عملکرد دانه محیط‌های مورد بررسی و پنج مؤلفه اصلی معنی‌دار برهم کنش، سه گروه از محیط‌ها را مشخص کرد (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Esf16 (اصفهان سال اول)، Esf17 (اصفهان سال دوم)، Krm16 (کرمانشاه سال اول)، Krj17 (کرج

می‌شوند که دارای برهم کنش بزرگ باشند. زیرا در این محیط‌ها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بهتر نمایان می‌شود. بنابراین با توجه به این نکته، محیط‌های زرقان و خوی به دلیل دارا بودن برهم کنش بزرگ (ناپایدارترین محیط‌ها)، بیشترین تأثیر را در برهم کنش داشتند و به نظر می‌رسد برای تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب هستند.

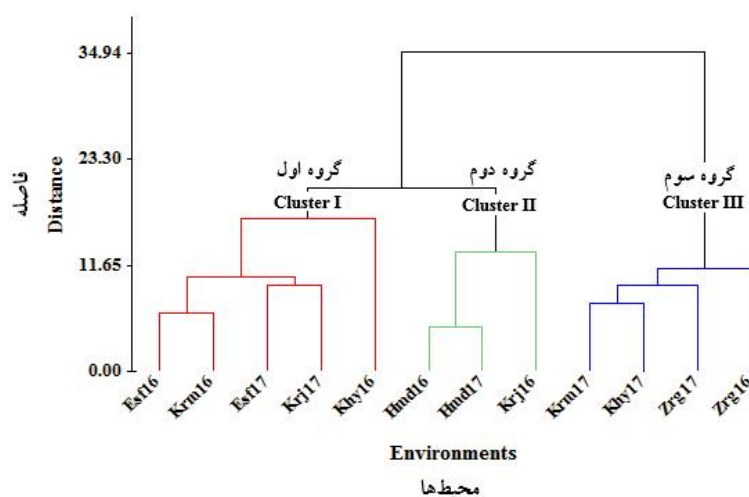
نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهم کنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. محور افقی نشانگر اثر اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) است. در شکل 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 G13، G2، G12، G1، G5 و G8 با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود واقع در میانه بای‌پلات، عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های G11 و G4 کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. همچنین خط افقی در میانه بای‌پلات بیانگر عدم وجود برهم کنش است به این ترتیب ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که نزدیک این خط قرار دارند، نقش کمتری در ایجاد برهم کنش دارند. درحالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که از این خط فاصله دارند، دارای سهم بیشتر در ایجاد برهم کنش هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های G13 و G10 دارای نقش کمتر در ایجاد برهم کنش بودند به این ترتیب ژنوتیپ G13 به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ پایدار و با عملکرد دانه بالا انتخاب شد (شکل ۱). ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه کمتری داشته باشند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی برهم کنش (IPCA1) باشند، برای کاشت در نواحی و مناطق ضعیف و کم‌بازده توصیه می‌شوند؛ به عبارتی این ژنوتیپ‌ها با مناطق ضعیف و کم‌بازده برهم کنش مثبت دارند (۲۵). در این مطالعه ژنوتیپ‌های G4،



شکل ۱. نمودار بای پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۳ ژنوتیپ کلزا و ۱۲ محیط



شکل ۲. نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۳ ژنوتیپ کلزا و ۱۲ محیط



شکل ۳. گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس رتبه میانگین عملکرد دانه و پنج مؤلفه اصلی برهم کنش ژنوتیپ × محیط (نام کامل محیط‌ها در جدول ۱ ذکر شده است).

این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب‌وهوایی این مناطق طی چند سال روی عملکرد کلزا تأثیری نداشته و پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش هزینه‌ها و کارایی بیشتر برنامه‌های به‌نژادی، در این ایستگاه‌ها آزمایش‌های بررسی ارقام کلزا را با تعداد سال کمتری انجام داد. همچنین قرار گرفتن سال‌های اول و دوم ایستگاه‌های کرج، خوی و کرمانشاه در گروه‌های جدا نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها است. به‌عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب‌وهوایی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و پنج مؤلفه اصلی برهم کنش ژنوتیپ × محیط و همچنین بر اساس پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ G13 با میانگین عملکرد دانه ۴۰۸۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا شناسایی شد که برای کشت در اقلیم سرد و معتدل سرد کشور پیشنهاد می‌شود. همچنین محیط‌های زرقان و خوی به‌دلیل دارا بودن برهم کنش بزرگ، بیشترین تأثیر را در برهم کنش داشته و به‌عنوان محیط‌های ایده‌آل برای تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه شناخته شدند. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش مکان‌های اصفهان، همدان و زرقان هر کدام در یک گروه بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این مکان‌ها نسبت به سایر مکان‌ها است.

سال دوم) و Khy17 (خوی سال اول) بود. با توجه به شکل ۳، Hmd16 (همدان سال اول)، Hmd17 (همدان سال دوم) و Krj16 (کرج سال اول) در گروه دوم قرار گرفتند و گروه سوم (Cluster III) شامل محیط‌های Krm17 (کرمانشاه سال دوم)، Khy17 (خوی سال دوم)، Zrg16 (زرقان سال اول) و Zrg17 (زرقان سال دوم) بود (شکل ۳). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر برهم کنش 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 برهم کنش متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم هستند. (۴۱ و ۴۲). با توجه به نتایج گروه‌بندی محیط‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع اثر متقابل (متقاطع و غیرمتقاطع) در آزمایش‌های چندمحیطی کلزای زمستانه در مناطق سرد و معتدل سرد کشور وجود دارد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت. اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت. در پژوهش مرتضویان و همکاران (۲۷) نیز هر دو نوع اثر متقابل در کلزا گزارش شده است. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش مکان‌های اصفهان (Esf16 و Esf17)، همدان (Hmd16 و Hmd17) و زرقان (Zrg16 و Zrg17) در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این مکان‌ها نسبت به سایر مکان‌ها است. به‌عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. بنابراین با تکرار

منابع مورد استفاده

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. 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 Farsi).
3. Akbarpour, O., H. Dehghani, B. Sorkhi and H. Gauch. 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.
4. Alizadeh, B., M. Yazdandust Hamedani, A. Rezaei Zad, S. Azizinia, M. Khiyavi, A. H. Shirani Rad, F. Javidfar, B. Pasban Eslam, M. Mostafavi Rad, F. Shariati, S. Rahmanpour Ozan, M. H. Alem Khumaram, B. Majd Nasiri, A. Amiri Oghan and A. Zareei Siahbidi. 2019. Nima, new winter oilseed rape variety for cultivation in the cold and moderately cold Regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 8: 61-76. (In Farsi).
 5. 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 Farsi).
 6. Becker, H. C. 1981. Correlation among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-884.
 7. Bocianowski, J., J. Książak and K. Nowosad. 2019. Genotype by environment interaction for seeds yield in pea (*Pisum sativum* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica* 215: 191.
 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 & Pasture Science* 67: 792-799.
 10. Dezfouli, P. M., M. Sedghi, M. E. Shariatpanahi, M. Niaziyan and B. Alizadeh. 2019. Assessment of general and specific combining abilities in doubled haploid lines of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products* 141: 111754.
 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 Farsi).
 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. 1970. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research* 8: 333-344. (In Farsi).
 15. Falconer, D. S. 1981. Introduction to Quantitative Genetics (2th 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 Farsi).
 17. Fooladvand, M., H. Shahsavand, G. Mohamadinejad and M. Parvizi. 2013. Genotype by environment interaction and study of sugar yield stability in the sugarcane cultivars in Khuzestan locations by stability criteria. *Cereal Research* 2: 31-44. (In Farsi).
 18. Gauch, H. G. 1992. Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science.
 19. Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1996. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311-326.
 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 Farsi).
 23. Jamshidmoghaddam, M. and S. S. Pourdard. 2011. Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. *Euphytica* 180: 321-335.
 24. Karimizadeh, R., H. Dehghani and Z. Dehghanpour. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype × environment interaction in early maturing corn hybrids. *Seed Plant Improvement Journal* 23: 531-546. (In Farsi).
 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 Farsi).
 26. MINITAB, INC. 2005. Minitab 14. User's guide. Harrisburg, Pennsylvania, USA.
 27. Mortazavian, S., H. Nikkhah, F. Hassani, A. H. M. Sharif, M. Taheri and M. Mahlooji. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *Journal of*

- Agricultural Science and Technology* 16: 609-622.
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 Farsi).
 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. Omrani, S., A. Omrani, M. Afshari, A. Saremi-rad, S. Bardehji and P. Foroozesh. 2018. Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. *Journal of Crop Breeding* 11: 153-163. (In Farsi).
 31. Pourdad, S. S. and M. M. Jamshid. 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 Farsi).
 32. 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.
 33. 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 Farsi).
 34. Safavi, S. and S. Bahraminejad. 2017. The evaluation of genotype× environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding* 922: 125-132. (In Farsi).
 35. SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT user's guide. (2nd edition). SAS Institute Inc., Cary, NC.
 36. 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 Farsi).
 37. SPSS, I. 2010. SPSS 19. Users Guide. Chicago, IL., USA.
 38. 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 Farsi).
 39. 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.
 40. 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.
 41. Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
 42. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.

Analysis of Genotype × Environment Interaction for Seed Yield in Winter Rapeseed Cultivars and Lines Using Multivariate Method of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction

B. Alizadeh^{1*}, A. Rezaizad², M. Yazdandoost Hamedani³, Gh. Shiresmaeili⁴,
F. Nasserghadimi⁵, H. R. Khademhamzeh⁶ and A. Gholizadeh⁷

(Received: August 20-2019; Accepted: September 20-2019)

Abstract

Evaluation of the different genotypes under different environmental conditions helps plant breeders in detecting stable and high-yielding genotypes. In this regard, 13 winter rapeseed cultivars and lines were evaluated in a randomized complete block design with three replications in six experimental field stations of cold and temperate regions of Iran (Isfahan, Hamedan, Karaj, Kermanshah, Khoy and Zarghan) during two cropping seasons. For analyzing genotype × environment interactions the multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) was used. The Results of combined analysis of variance indicated that 50.26, 4.68 and 23.49 percent of total variation were related to the environment, genotype and genotype × environment interaction effects, respectively. The results showed that the first five principal components of AMMI were significant and described 85.4% of the variance of genotype × environment interaction. Biplot graph of mean seed yield and first interaction principle revealed that genotype G13 had a higher average seed yield than the overall mean yield and lowest value for first principle component. Therefore, this genotype was selected as a high-yielding and stable genotype. Also, Zarghan and Khoy indicated the strongest interactions and, hence, were recognized as the most ideal environments for distinguishing and discriminating winter rapeseed genotypes. The cluster analysis classified the studied environments in three groups. The presence of Isfahan, Hamedan and Zarghan locations each in a group indicates that these locations had the higher predictability and repeatability power compared to other locations. Genotype G13 with mean seed yield of 4086.02 kg ha⁻¹ and a broad adaptability could be used for cultivation in cold and temperate regions of Iran.

Keywords: Additive main effects and multiplicative interaction, Genotype × environment interaction, Seed yield, Rapeseed

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, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
4. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
5. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.
6. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.
7. 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, Email: alizadeh.bahram@gmail.com