دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری و سازگاری عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه

الهه شادان[۱]، حمید نجفی زرینی[۲]، بهرام علیزاده[۳]، غلامعلی رنجبر[۲] و غفار کیانی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: elahe_shadan96@yahoo.com)
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲
صفحه: ۹۷ تا ۱۰۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کلزا یکی از مهمترین گونه‌های گیاهی دانه روغنی در مناطق با شرایط معتدل آب و هوایی است. در اکثر برنامه‌های به‌نژادی مخصوصا در مقایسه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، به دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تظاهر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت است. بنابراین برای برآورد دقیق میزان عملکرد دانه، بایستی آزمایشات تکراردار منطقه‌ای توسط به‌نژادگران انجام گیرد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، تعداد ۱۶ ژنوتیپ کلزا طی آزمایشی در پنج منطقه کرج، کرمانشاه، اصفهان، مشهد و همدان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ با محیط از مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) و مدلGGE بای پلات (ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط) استفاده شد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها از آماره ارزش پایداری امی (ASV) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که به‌ترتیب ۴۰/۵۹، ۲۶/۰۱ و ۳۳/۳۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود. نتایج نشان داد که چهار مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۸۸/۵ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را توجیه کردند. ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۲ با داشتن کم‌ترین میزان ASV و عملکردی بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی خوب شناخته شدند. بررسی بای‌پلات چند ضلعی منجر به شناسایی چهار ژنوتیپ برتر و دو محیط بزرگ شده و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ نیز مشخص گردید. پنج ژنوتیپ دیگر در نواحی قرار گرفتند که هیچ محیطی در آن قرار نداشت و ارقامی ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۵ با عملکرد بالا جزء ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ۹ با بالاترین عملکرد دانه و پایداری عملکرد نسبی گزینش شد. همچنین دو ژنوتیپ ۹ و ۷ نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده آل بودند.

نتیجه‌گیری: تجزیه AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) در مقایسه با نتایج GGE بای‌پلات نشان داد تمام این شاخص‌ها از پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند، اما GGE بای‌پلات بسیار کاربردی‌تر بوده و می‌تواند به صورت گسترده‌ای در بررسی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح کلزای زمستانه بکار گرفته شود. بر اساس نتایج حاصل از این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۲ پایدارترین ژنوتیپ‌ها با سازگاری عمومی بالا بودند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، آزمایش‌های چندمحیطی، پایداری عمومی، ژنوتیپ ایده‌آل، محیط ایده‌آل

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از دانه‌های روغنی است که بعد از سویا به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولیدکننده روغن خوراکی به شمار می‌رود (۹). به دلیل سازگاری وسیع و توانایی رشد در شرایط مختلف اقلیمی، گونه‌های مختلف براسیکا در سراسر جهان به‌منظور تهیه روغن خوراکی، علوفه حیوانات، سوخت‌های زیستی و کاربردهای صنعتی کشت می‌شوند (۱۰). این ویژگی‌ها باعث شده است که کلزا به‌عنوان نقطه امیدی برای تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور به‌شمار آید (۲). دانه کلزا حاوی ۴۵ تا ۴۷ درصد روغن و ۲۰ تا ۲۴ درصد پروتئین است. روغن کلزا به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیر اشباع به‌عنوان یکی از سالم‌ترین روغن‌های گیاهی شناخته می‌شود (۲۸). عملکرد در گیاهان تحت‌تأثیر اثرات اصلی ژنوتیپ (G)، محیط (E) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (G × E) است (۱،۲۷). بنابراین ، برای برآورد دقیق آن، نیاز به انجام آزمایش‌های تکراردار چندمحیطی است. در این آزمایشات، به‌طور معمول تعدادی از ژنوتیپ‌ها را در چندین محیط آزمایش می‌کنند (۱۲). تعامل بین ژنوتیپ و اثر متقابل منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های خاص می‌شود (۶). در هر حال، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط انتخاب ارقام پایدار با عملکرد بالا را با مشکل روبرو می‌کند، زیرا عملکرد ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۷). روش‌های مختلفی جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط محققین مختلف استفاده شده است. این روش‌ها شامل سه دسته اصلی تک متغیره پارامتری، ناپارامتری و چندمتغیره می‌باشند. هرکدام از این روش‌ها ابعاد خاصی از داده‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد ناحیه‌ای، را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (۱۸،۲۹). از جمله روش‌های آماری چند متغییره روش GGE bi-plot[۱]، AMMI[۲] و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۳] است که برای تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در آزمایشات چند محیطی استفاده می‌شوند و بر پایه تجزیه به مقادیر منفرد (SVD[۴]) بنا شده‌اند (۱۲).

روش تجزیه پایداری AMMI تنها مدلی است که در آن به‌طور روشن اثرات اصلی و متقابل جدا شده و برآورد قابل اطمینانی از عملکرد دانه را در اختیار قرار می‌دهد (۱۳). در روش AMMI اثرات اصلی جمع پذیر ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی و سپس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این مدل دارای مزیت‌های بسیاری است. از جمله اینکه، مقدار نسبتاً کمی از درجات آزادی اثر متقابل را شامل می‌شود. همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط را در

1- G plus GE interaction (GGE) biplot
2- Additive Main Effect andMultiplicative Interaction (AMMI)
3- Principal Componenet Analysis (PCA)
4- Singular Value Decomposition

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

بیشتر از یک بعد توصیف می‌کند و فرصت‌های مناسب‌تری را جهت مطالعه و تفسیر اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به روش‌های تجزیه واریانس معمولی و رگرسیون در اختیار قرار می‌دهد (۳۰). این روش برای تعیین پایداری، سازگاری و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در بسیاری از گیاهان از جمله کلزا (۲،۱۵)، آفتابگردان (۱۱)، برنج (۲۳،۲۴)، ذرت (۲۵) و لوبیا (۵) مورد استفاده قرار گرفته است. مدل GGE بای‌پلات توسط یان (۳۱) معرفی شد.

کانگ (۱۴) معتقد است، از نظر به‌نژادگران و تولیدکنندگان گیاهان زراعی، انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس اثر ژنوتیپ و یا اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به تنهایی مدنظر نمی‌باشد. آنچه در بررسی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف اهمیت بسیاری دارد، بزرگ بودن اثرمحیط و غیرقابل استفاده بودن آن می‌باشد. بنابراین حذف اثرمحیط از داده‌ها و تمرکز بر روی اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اهمیت بالایی دارد. در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (GE) ازهم تفکیک نمی‌شوند و به همین دلیل یان و همکاران (۳۲) معتقدند که روش GGE بای‌پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط موفق‌تر از روش AMMI است. از این روش در تحقیقات زیادی، بر روی گیاهان مختلف از جمله کلزا (۳، ۴ و ۲۶)، لوبیا (۵)، ذرت (۱۶ و ۲۵)، نخود فرنگی (۸)، جو (۲۹)، گندم (۲۰،۲۱) و برنج (۲۴) مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پژوهش ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات و AMMI شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار، شناسایی و توصیه بهترین ژنوتیپ(ها) برای گروه‌های محیطی مختلف، و نیز مقایسه کارآیی آن روش‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار در محیط‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تعداد ۱۶ ژنوتیپ (جدول ۱) در پنج ایستگاه تحقیقاتی مناطق سرد و معتدل سرد کشور (کرج، کرمانشاه، اصفهان، مشهد و همدان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نام و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در (جدول ۲) بیان شده است.

پس از آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار پتاسیم و فسفر مورد نیاز به‌ترتیب 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 به‌صورت سرک در سه مرحله کاشت، شروع ساقه رفتن و زمان پیدایش اولین غنچه‌های گل به‌میزان 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. وجین علف‌های هرز بسته به نیاز سه تا چهار بار به‌صورت دستی انجام شد. کشت بر اساس دستورالعمل کشت کلزا در هر منطقه، در تاریخ‌های توصیه شده انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف پنج متری با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. آبیاری در هر مکان آزمایشی، با توجه به وضعیت بارندگی و شرایط آب و هوایی آن مکان و به صورت نشتی انجام شد. عملکرد دانه پس از رسیدن فیزیولوژیک در هر تیمار با حذف دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. تجزیه مرکب مناطق پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید همگن بودن اشتباهات آزمایشی انجام شد. برای تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها، از روش‌های GGE بای‌پلات و AMMI استفاده شد. برای محاسبه پایداری ژنوتیپ‌ها از پارامتر پایداری (ASV)[1] استفاده شد که بر اساس رابطه زیرمحاسبه می‌شود (۲۲).

$$ASV=\sqrt{\left[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2}(IPCA1\ Score)\right]^2+(IPAC2\ Score)^2}$$

در این رابطه SSIPCA1 و SSIPCA2 به‌ترتیب مجموع مربعات مربوط به اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، IPCA1 و IPCA2 به‌ترتیب مربوط به مقدار نمره‌های مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها است. در این پژوهش تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تجزیه AMMI از نرم‌افزار PB TOOLS و برای تجزیه GGE بای‌پلات از نرم‌افزار GGE biplot استفاده شد.

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

Table 1. Genotypic number, name, pedigree and origin of the tested winter rapeseed genotypes

شماره	نام	منشاء	تیپ رسیدگی	شجره	شماره	نام	منشاء	تیپ رسیدگی	شجره
۱	Okapi (شاهد)	فرانسه	زمستانه	رقم تجاری	۹	DK Extorm	آمریکا	زمستانه	رقم
۲	SLM046	آلمان	زمستانه	رقم	۱۰	DK Excalibur	آمریکا	زمستانه	رقم
۳	Ahmadi (شاهد)	ایران	زمستانه	Geronimo*SW0756	۱۱	ES Natalie	فرانسه	زمستانه	رقم
۴	SW102	ایران	زمستانه	Okapi*Modena	۱۲	ES Danube	فرانسه	زمستانه	رقم
۵	L72	ایران	زمستانه	Orient*Modena	۱۳	ES Artist	فرانسه	زمستانه	رقم
۶	HL3721	ایران	زمستانه	Modena*GA096	۱۴	SY-Vesuvio	آمریکا	زمستانه	رقم
۷	HL2012	ایران	زمستانه	Geronimo*Sunday	۱۵	SY-Medea	آمریکا	زمستانه	رقم
۸	DK Expower	آمریکا	زمستانه	رقم	۱۶	SY-Harnus	آمریکا	زمستانه	رقم

1- AMMI'S Stability Value

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

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

مکان	نوع اقلیم	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	نوع خاک
کرج	معتدل سرد	۱۳۱۲	۳۵ º ۵۶´	۵۴ º ۵۱´	۳۰۰	لومی رسی
رمانشاه	معتدل سرد	۱۳۴۶	۳۴ º ۰۸´	۴۷ º ۲۶´	۴۳۸	سیلتی رسی
اصفهان	معتدل سرد	۱۵۴۵	۳۲ º ۳۵´	۵۱ º ۴۰´	۱۳۸	سیلتی رسی
مشهد	سرد	۱۰۵۰	۳۵ º ۴۳´	۵۹ º ۱۵´	۲۱۲	سیلتی رسی
همدان	سرد	۱۷۵۸	۳۵ º ۱۲´	۴۸ º ۴۰´	۲۳۰	شنی لومی

کد مکان: KRJ1= کرج سال اول، KRJ2= کرج سال دوم، KER1= کرمانشاه سال اول، KER2= کرمانشاه سال دوم، ESF1= اصفهان سال اول، ESF2= اصفهان سال دوم، MSH1= مشهد سال اول، MSH2= مشهد سال دوم، HAM1= همدان سال اول و HAM2= همدان سال دوم

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس با مدل AMMI (جدول ۳) نشان می‌دهد اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری دارند. معنی‌داری اثر محیط، بیانگر تنوع بین محیط‌ها است که باعث ایجاد تفاوت درعملکرد دانه ژنوتیپ‌ها می‌شود. معنی‌داری اثر ژنوتیپ بیان‌گر این است که بین ژنوتیپ‌های مختلف تنوع ژنتیکی کافی برای عملکرد دانه وجود دارد. همچنین معنی‌داری برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان دهنده تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها درمحیط‌های مختلف می‌باشد. به‌عبارت دیگر عملکرد ژنوتیپ در محیط‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب ۲۶ و ۴۰/۶ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص دادند. و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۳۳/۴ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد. بیشترین درصد توجیه، مربوط به محیط و بعد از آن مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد. درصد بالاتر اثر محیط نسبت به ژنوتیپ با توجه به تفاوت محیط‌ها از نظر شرایط محیطی همچون میزان بارندگی، ارتفاع سطح دریا و نوع خاک قابل توجیه می‌باشد. بالا بودن سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز نشان از اهمیت انجام تجزیه پایداری دارد. علیزاده و همکاران (۲) در کلزا ۵۷ درصد از تغییرات را به اثر محیط نسبت دادند. محققان دیگر نیز در آزمایش‌های انجام شده در چند محیط بر روی گیاهان کلزا (۷،۱۵)، آفتابگردان (۱۱)، جو (۲۹)، ذرت(۱۶) و برنج (۲۴) نشان دادند که اثر محیط و اثر متقابل نسبت به اثر ژنوتیپ درصد بالایی از تغییرات موجود در داده‌ها را بـه‌خـود اختصـاص داده اسـت.

در مدل AMMI مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به چهار مولفه اصلی اثرات متقابل IPCA1، IPCA2، IPCA3 و IPCA4 و اثر باقیمانده تجزیه شد. سهم مولفه‌های اصلی اثر متقابل از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۵۱/۶ ، ۱۹/۷، ۹ و ۸/۲ درصد بود. دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۷۱/۳ درصد از اثرات متقابل را توجیه کردند. در بررسی اثر متقابل محیط × ژنوتیپ صفات کیفیت بذر لاین‌های مشتق شده از تلاقی بین گونه‌ای کلزا توسط روش امی سه مولفه اول معنی دار شد و سهم این سه مولفه از مجموع مربعات اثر متقابل را ۸۵/۳۸ درصد گزارش کردند (۷). طی پژوهشی با انجام تجزیه پایداری بر روی عملکرد هیبریدهای برنج تحت شرایط تنش گرمایی، با روش امی سهم دو مولفه اصلی اثر متقابل از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ۵۷/۲ درصد گزارش شد (۲۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در پنج مکان و دو سال زراعی
Table 3. Analysis of variance of AMMI model for seed yield of rapeseed genotypes in five locations and two crop years

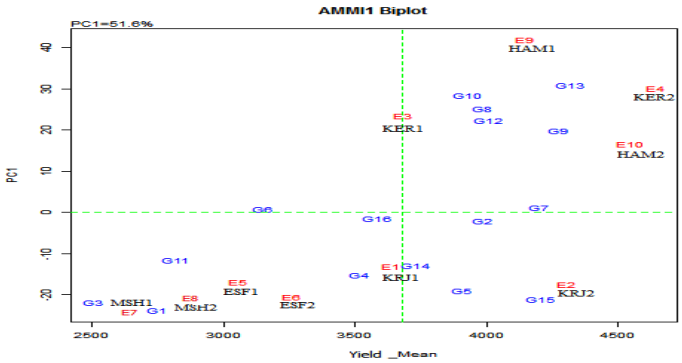
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مجموع مربعات توجیه شده (درصد)
محیط	۹	۸۴۵۳۳۸۸**	۴۰/۵۹
محیط × (تکرار)	۲۰	۶۴۷۹۹۱	–
ژنوتیپ	۱۵	۳۲۵۰۲۳۸**	۲۶/۰۱
محیط × ژنوتیپ	۱۳۵	۴۶۳۶۳۱**	۳۳/۳۹
IPCA۱	۲۳	۱۴۰۳۵۴۱/۴**	۵۱/۶
IPCA۲	۲۱	۵۸۷۳۵۲/۶**	۱۹/۷
IPCA۳	۱۹	۲۹۴۹۵۷/۱**	۹/۰
IPCA۴	۱۷	۳۰۲۱۲۱/۳**	۸/۲
باقی مانده (نویز)	۵۵	۱۳۱۵۲۸/۳ns	۱۱/۵
خطا	۳۰۰	۹۸۹۸۸/۹	–
کل	۴۷۹	۱۳۷۹۳۳۱/۹	–

** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار

بر اساس بای‌پلات AMMI1 (شکل ۱) که در آن خط عمود در میانه نمودار از میانگین کل آزمایش می‌گذرد، ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در سمت راست این خط قرار می‌گیرند دارای عملکرد بالاتر، و ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در سمت چپ این خط قرار دارند دارای عملکرد پایین‌تر، از میانگین کل هستند. محور افقی در میانه نمودار نشان‌دهنده IPC11=0

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

است، که عدم وجود اثر متقابل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که بر روی یک خط افقی قرار دارند واکنش مشابهی از نظر اثر متقابل دارند. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که اثر متقابل بالایی دارند، دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) برای اولین مؤلفه می‌باشند، اما ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که دارای اثر متقابل پایین هستند دارای مقادیر نزدیک به صفر برای اولین مؤلفه اصلی، هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۷، ۲ و ۱۶ دارای کمترین اثر متقابل با محیط می‌باشند و از بین آنها ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۲ به دلیل داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در تمامی مناطق انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۵ دارای بیشترین مقدار اثر متقابل به همراه عملکرد بالا در بین تمامی ژنوتیپ‌ها بودند. در میان مکان‌ها بیشترین اثر اصلی را کرمانشاه و همدان در سال دوم داشتند و بیشترین اثر متقابل مثبت مربوط به منطقه همدان سال اول و کرمانشاه سال دوم آزمایش بود که بیشترین سهم را در اثر متقابل داشتند. کمترین اثر اصلی متعلق به منطقه مشهد در سال اول و کمترین اثر متقابل منفی مربوط به کرج در سال اول آزمایش بود. ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۹، ۱۲، ۸ و ۱۰ با داشتن اثر اصلی و متقابل مثبت برای محیط‌های مطلوب، کرمانشاه و همدان مناسب هستند و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۵ و ۱۴ با داشتن اثر اصلی مثبت، و اثر متقابل منفی برای محیط‌های نامطلوب، کرج، اصفهان و مشهد مناسب هستند. روش AMMI دارای پارامترهای مختلفی است که مهمترین آنها پارامتر پایداری امی (ASV) است. بر اساس این پارامتر، ژنوتیپی پایدار است که دارای ASV کمتری باشد. ژنوتیپ شماره ۷ کمترین مقدار ASV را به خود اختصاص داد و با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به عنوان پایدارترین ژنوتیپ با عملکرد بالا انتخاب شد. بعد از آن ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۲ به ترتیب دارای کمترین مقدار ASV بودند. اما، تنها ژنوتیپ شماره ۲ به عنوان ژنوتیپ پایدار بعد از ژنوتیپ شماره ۷ ، به دلیل داشتن میزان عملکرد بالاتر از میانگین کل، انتخاب شد. ژنوتیپ شماره ۱۳ با داشتن بیشترین میزانASV به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ بر اساس این پارامتر شناخته شد. علیزاده و همکاران (۲) رقم نفیس را با داشتن کمترین اثر متقابل و بالاترین عملکرد و داشتن کمترین میزان ASV به عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی کردند.



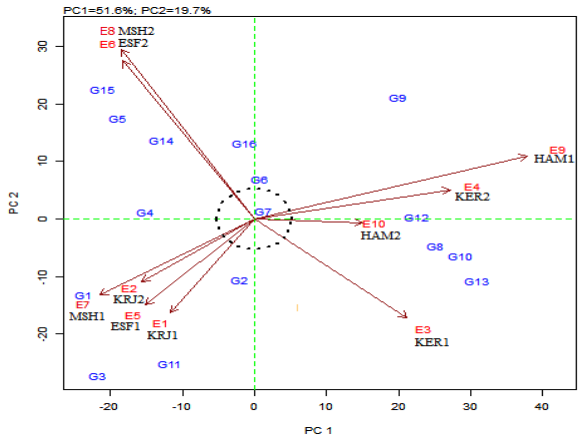
شکل ۱ – بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا، محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آنها (AMMI1)
Figure 1. Biplot of grain yield yield mean in winter rapeseed genotypes, environments and values of their first main principal component (AMMI1)

جدول ۴- ارزش پایداری روش امی (ASV) و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا
Table 4. ASV of AMMI method and the values of first and second main components in winter rapeseed lines

ژنوتیپ	میانگین	IPCA1	IPCA2	ASVi
۱	۲۷۴۵/۴۳	−۲۳/۷۴	−۱۳/۲۱	۴۰/۶۱
۲	۳۹۸۳/۵۷	−۲/۰۵	−۱۰/۴۸	۱۰/۹۹
۳	۲۵۰۲/۰۷	−۲۱/۷۷	−۲۷/۱۸	۴۴/۴۹
۴	۳۵۱۶/۷۷	−۱۵/۱۴	۱/۱۵	۲۴/۵۲
۵	۳۹۰۷/۹۳	−۱۹/۰۸	۱۷/۴۴	۳۵/۴۵
۶	۳۱۴۷/۳۳	۰/۷۶	۶/۹۰	۷/۰۱
۷	۴۱۹۸/۹۳	۱/۲۶	۱/۳۹	۲/۴۷
۸	۳۹۸۶/۲۳	۲۵/۱۶	−۴/۶۶	۴۰/۹۷
۹	۴۲۷۶/۵۳	۱۹/۸۵	۲۱/۱۶	۳۸/۴۶
۱۰	۳۹۳۱/۲۷	۲۸/۵۲	−۶/۴۲	۴۶/۵۸
۱۱	۲۸۲۰/۲۷	−۱۱/۶۴	−۲۵/۱۹	۳۱/۴۵
۱۲	۴۰۰۷/۵۷	۲۲/۴۲	۰/۴۱	۳۶/۲۷
۱۳	۴۳۱۹/۷۷	۳۰/۸۸	−۱۰/۸۰	۵۱/۱۱
۱۴	۳۷۳۰/۹۷	−۱۲/۸۵	۱۳/۶۸	۲۴/۸۸
۱۵	۴۲۰۷/۳۳	−۲۱/۱۱	۲۲/۶۰	۴۰/۹۵
۱۶	۳۵۸۴/۴	−۱/۴۶	۱۳/۲۱	۱۳/۴۲

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

بای‌پلات AMMI2 (شکل ۲) جمعا ۷۱/۳ ٪ تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کرد. به طوری که مولفه اصلی اول سهم بیشتری (۵۱/۶٪) از مولفه دوم (۱۹/۷٪) را دارا بود. قرارگیری ژنوتیپ در مرکز محور مختصات بای‌پلات به این معنی است که آن ژنوتیپ دارای سازگاری عمومی با محیط‌های مورد بررسی است. بر اساس بای‌پلات AMMI2 ژنوتیپ شماره ۷ با داشتن کمترین فاصله از مرکز بای‌پلات نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش پایدارترین ژنوتیپ تشخیص داده شد و بعد از آن ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۲، ۱۶ و ۴ در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند. از بین این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۲ با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی خوب و با عملکرد بالا شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۰، ۱۱، ۳، ۱، ۱۵ و ۹ با داشتن بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات AMMI2 بیشترین اثر متقابل را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از خود نشان دادند و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به اثر متقابل محیطی بودند. محیط‌های مشهد و کرمانشاه در هر دو سال (MSH1,2 و KER1,2) و همدان سال اول (HAM1) و اصفهان سال دوم (ESF2) در ایجاد اثر متقابل سهم به‌سزایی داشتند و دارای بیشترین فاصله از مبداء بای‌پلات بودند که در بین آنها محیط همدان در سال اول (HAM1) بزرگترین اثر متقابل مثبت را ایجاد کرد و محیط مشهد در سال اول (MSH1) بزرگترین اثرمتقابل منفی را به وجود آورد. همدان در سال دوم (HAM2) کمترین اثر متقابل را از خود نشان داد و نسبت به سایر مناطق نزدیکترین فاصله را به مرکز بایپلات AMMI2 داشت. در پژوهشی بر اساس بای‌پلات AMMI2 ژنوتیپ‌های ۱، ۵، ۶ و ۷ با داشتن کمترین فاصله از مرکز بایپلات کمترین مشارکت را در ایجاد اثر متقابل داشتند. محیط ۳ و ۴ نیز به دلیل داشتن کمترین فاصله از مبداء بای‌پلات نه تنها کمترین اثر را در میزان اثر متقابل داشتند بلکه بزرگترین عامل در پایداری فنوتیپی ژنوتیپ‌ها بودند (۱۶). ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که بر روی بای‌پلات در موقعیت نزدیک یکدیگر قرار می‌گیرند دارای رابطه و همبستگی مثبتی با هم هستند و ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی برای این مناطق هستند. اگر دو بردار محیطی زاویه کوچکی با هم داشته باشند، دو محیط با هم همبستگی بالایی دارند. طول تصویر عمود بردار ژنوتیپی بر روی بردار محیطی نشانگر میزان انحراف آن ژنوتیپ از میانگین آن محیط است هر چه میزان طول بردار ژنوتیپی بیشتر باشد، میزان اثر متقابل آن ژنوتیپ با محیط‌ها بیشتر است (۱۹). با توجه به شرح فوق در نمودار AMMI2 مشاهده می‌شود که محیط‌های کرج در سال اول و دوم (KRJ1,2) و اصفهان و مشهد سال اول (ESF1 و MSH1) دارای تمرکز محیطی بالایی (همبستگی بالا) با یکدیگر می‌باشند و ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۱ دارای سازگاری خصوصی بالایی با این محیط‌ها هستند. هر چند با توجه به میانگین عملکرد تنها ژنوتیپ ۲ برای این مناطق توصیه می‌شود. همچنین محیط‌های مشهد و اصفهان سال دوم (MSH2 و ESF2) نیز با یکدیگر تمرکز محیطی بالایی داشته و ژنوتیپ های ۱۵، ۵ و ۱۴ از سازگاری خصوصی بالایی نسبت به این محیط‌ها برخوردارند. محیط‌های همدان و کرمانشاه در هر دو سال نیز با همدیگر تمرکز محیطی بالایی دارند و ژنوتیپهای ۸، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ از سازگاری خصوصی بالایی با این محیط‌ها برخوردار هستند.



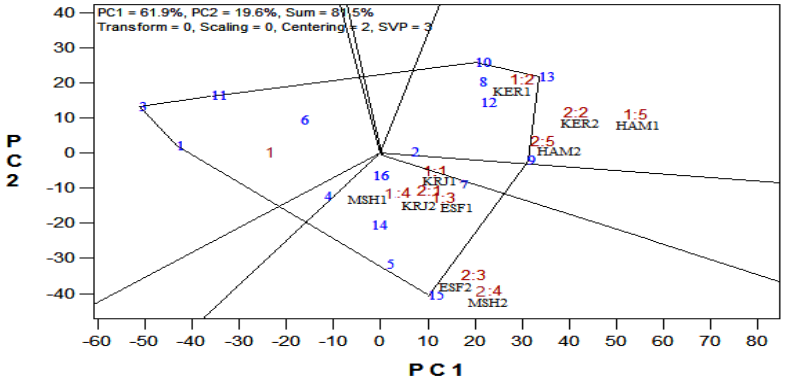
شکل ۲ – نمودار بای‌پلات بر اساس دو مولفه اصلی اول اثر متقابل (AMMI2)
Figure 2. Biplot based on value of tow main principal components of interaction (AMMI2)

تجزیه GGE بای‌پلات

نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات (شکل ۳) نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۱/۹ و ۱۹/۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کنند. در مجموع این دو مولفه ۸۱/۵ درصد از کل تغییرات ژنوتیپ و محیط × ژنوتیپ را توجیه می‌کنند که می‌تواند تأییدی بر معتبر بودن بای‌پلات در توجیه این تغییرات باشد. در صورتیکه مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند بیشتر تغییرهای موجود را توجیه کند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل محیط × ژنوتیپ است. نمودار بایپلات چند ضلعی جهت مشخص کردن محیط‌های بزرگ (ابر محیط‌ها) و تعیین ارقام برتر در مکان‌های مختلف استفاده می‌شود (۳۱). چند ضلعی مربوطه از اتصال ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند بدست می‌آید. با توجه به نمودار ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۹، ۱۵ و ۱ با داشتن بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات، به عنوان ژنوتیپ‌های با بیشترین و یا کمترین عملکرد شناسایی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

شدند. با رسم خطوط عمود بر وسط اضلاع این چند ضلعی محیط‌های بزرگتر شناسایی شدند. در این شکل همدان و کرمانشاه در هر دو سال (KER1,2 و HAM1,2) در یک گروه و مکان‌های کرج، مشهد و اصفهان در هر دو سال (KRJ1,2، MSH1,2 و ESF1,2) در گروه دیگر قرار گرفتند. محیط‌های بزرگ دارای دو ویژگی هستند اول، ژنوتیپ‌های برتر متفاوتی در محیط‌های بزرگ متفاوت وجود دارد و دوم، واریانس بین محیط‌های بزرگ به طور معنی‌داری بیشتر از واریانس درون محیط‌ها است. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۳ و ۹ در راس بخشی که شامل سال اول و دوم همدان و کرمانشاه (KER1,2 و HAM1,2) بود قرار داشتند و برتر بودند. ژنوتیپ ۱۵ در محیط شامل سال اول و دوم کرج، مشهد و اصفهان (KRJ1,2، MSH1,2 و ESF1,2) دارای بیشترین عملکرد دانه، و مناسب کشت در این محیط‌ها بود. و در واقع این ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین سازگاری اختصاصی با مکان‌های مورد نظر هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۴، ۶ و ۱۱ در بخشی قرار گرفتند که هیچ محیطی در آن وجود ندارد. در واقع این ژنوتیپ‌ها در هیچ یک ازمحیط‌ها بیشترین عملکرد دانه را نداشته و برای کشت در هیچ یک از مکان‌های مورد بررسی مناسب نمی‌باشند. ژنوتیپ‌های ۲ و ۱۶ که نزدیک مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند دارای عملکرد متوسط در تمام محیط‌ها بودند. سینسیک و همکاران (۲۶) ۱۵ ژنوتیپ کلزا را در ۸ محیط مورد بررسی قرار دادند. نتایج تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد مولفه اول و دوم به ترتیب ۵۷/۲۹ و ۱۸/۲۶ درصد از تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کردند. آنها با استفاده از روش GGE بای‌پلات دو ابر محیط را مشخص کردند. ابر محیط اول تنها شامل یک محیط بود و یک ژنوتیپ برتر در آن قرار داشت. هفت ژنوتیپ دیگر در ابر محیط دوم قرار گرفتند و دو ژنوتیپ موجود در رأس چند ضلعی به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در این ابر محیط انتخاب شدند.



شکل ۳- تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات و نمایش الگوی کدام-برتر-کجا بر اساس میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در محیط‌های آزمون مختلف

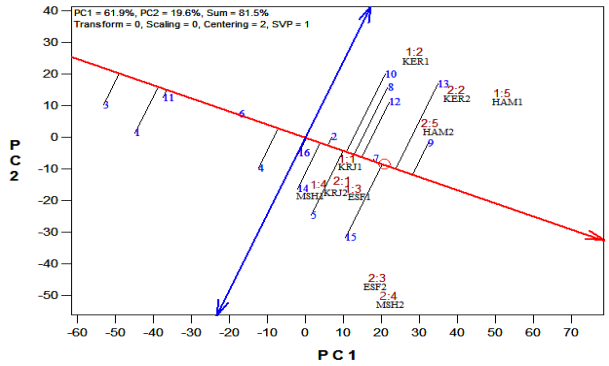
Figure 3. GGE-biplot analysis and display of which-won- where pattern based on seed yield of canola genotypes in different test environments

از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC)[1] (شکل ۴) به‌منظور بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. در این نمودار دو محور عمود بر هم نشان‌دهنده اثرمتقابل محیط × ژنوتیپ است. محوری که از مبدا بای‌پلات و محیط متوسط، که توسط یه دایره کوچک نشان داده شده است می‌گذرد، محور محیط متوسط می‌باشد و بیانگر میانگین عملکرد ژنوتیپ‌هاست که با زاویه از محور اصلی بای‌پلات فاصله گرفته است. جهت پیکان، میانگین عملکرد بیشتر را نشان می‌دهد. محور عمودی که از خطی با دو پیکان تشکیل شده است و از مبدا بای‌پلات می‌گذرد میزان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد و معیار پایداری و یا بی‌ثباتی ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور محیط متوسط قرار دارند مانند ژنوتیپ شماره ۹ و ۱۳ دارای عملکرد بالا و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ محور قرار دارند نظیر ژنوتیپ شماره ۳ و ۱ دارای کمترین عملکرد هستند. بلندتر بودن تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور افقی (صرفه نظر از جهت آن) نشان‌دهنده ناپایداری و بی‌ثباتی بیشتر آنها است. ژنوتیپ ۱۳ و ۱۵ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین، با توجه به فاصله زیاد از محور افقی به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب نشدند. ژنوتیپ شماره ۹ با بالاترین عملکرد دانه بعنوان ژنوتیپی با پایداری عملکرد نسبی گزینش شد. ژنوتیپ شماره ۷ و۲ با توجه به فاصله کم با محور افقی و عملکرد بالاتر از میانگین به عنوان ژنوتیپ‌هایی پایدار انتخاب شد.

(شکل ۵) بای‌پلات مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی را نشان می‌دهد. ژنوتیپ ایده‌آل، دارای بیشترین میانگین عملکرد است و کاملا پایدار است و برروی محور افقی (AEC) قرار می‌گیرد. در واقعیت چنین رقم ایده‌آلی به ندرت وجود دارد، اما مزیت این گراف نسبت به گراف‌های قبل و سایر روش‌های تجزیه پایداری این است که می‌توان از آن به عنوان مرجعی برای ارزیابی مطلوب بودن سایر ژنوتیپ‌ها نسبت به این ژنوتیپ استفاده نمود. ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ در مرکز دوایر متحدالمرکز وجود دارد. بر اساس این نمودار، ژنوتیپ شماره ۷ نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد و بنابراین مطلوب‌تر از بقیه ژنوتیپ‌های مورد آزمایش می‌باشد. به دنبال آن ژنوتیپ شماره ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۳ قراردارند. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱ و ۱۱ به دلیل داشتن بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل جزء نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها با کمترین عملکرد قرار دارند.

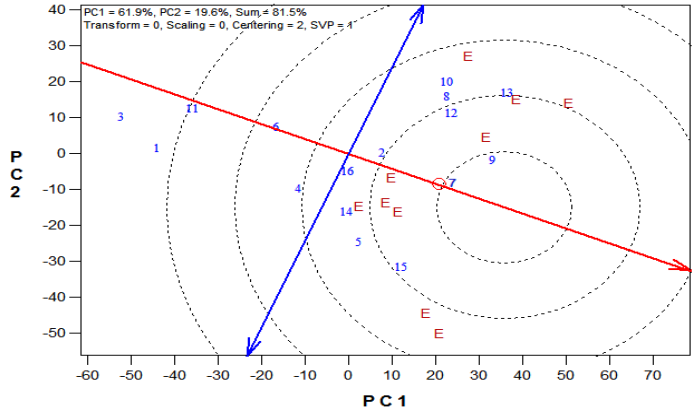
1- Average Environment Coordinate

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]



شکل ۴- بردار محیط متوسط (AEC) پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا به روش تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات در محیط‌های آزمون مختلف

Figure 4. Average environment coordination (AEC) of seed yield stability in canola genotypes using GGE biplot analysis in different test environments



شکل ۵- بای‌پلات مقایسه ژنوتیپ‌های کلزا با ژنوتیپ ایده‌آل بر مبنای عملکرد و پایداری

Figure 5. Biplot of canola genotypes comparison with ideal genotype based on yield and stability

برای یافتن ایده‌آل‌ترین محیط از (شکل ۶) استفاده شد. محیط آزمون ایده‌آل باید متمایز کننده و نمایانگر باشد. محیط ایده‌آل نیز، همانند ژنوتیپ ایده‌آل در واقعیت ممکن است وجود نداشته باشد ولی می‌تواند به عنوان نقطه مرجع مورد استفاده قرار گیرد. محیط ایده‌آل در مرکز یک مجموعه از دوایر هم مرکز که به منزله یک خط کش برای اندازه‌گیری فاصله بین یک محیط و محیط ایده‌آل به کار می‌روند، قرار دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود سال اول و دوم همدان (HAM1,2) و سال دوم کرمانشاه (KER2) نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل می‌باشند. از سویی سال اول و دوم کرج (KRJ1,2) و سال اول (MSH1) مشهد نسبت به سایر محیط‌های آزمون کمتر مطلوب هستند. محیط‌های مطلوب در واقع در شناسایی بهترین ارقام، مؤثرتر از سایر محیط‌ها هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود محیط‌ها با استفاده از خطوطی به مبدا بای‌پلات متصل هستند. کسینوس زاویه بین دو بردار برآوردی از ضریب همبستگی بین محیط‌ها را بیان می‌کند و طول بردار برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط و شاخصی برای قابلیت تمایز محیط‌ها است. از طرف دیگر زاویه هر بردار محیطی با محور مختصات محیط متوسط، معیاری برای تعیین میزان نمایندگی آن محیط است. محیط‌هایی که زاویه کمتر از ۹۰ درجه دارند دارای همبستگی مثبت با یکدیگر هستند و مربوط به یک محیط کلان می‌باشند و رفتار ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها تقریبا یکسان است. محیط‌های آزمون مربوط به محیط‌های کلان مختلف دارای زاویه ۹۰ درجه می‌باشند. زاویه بین محیط سال اول کرمانشاه (KER1) و سال اول مشهد (MSH1) زیاد و در حدود ۹۰ درجه است و نشان می‌دهد که این دو محیط مربوط به محیط‌های کلان جداگانه می‌باشند و در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها رفتاری متفاوت نشان می‌دهند. زاویه بین محیط‌های سال اول و دوم همدان و کرمانشاه (HAM1,2 و KER1,2) بسیارکم تر از ۹۰ درجه می‌باشد و نشان‌دهنده همبستگی بالای این محیط‌ها با یکدیگر می‌باشد. همچنین این موضوع در مورد محیط‌های سال اول و دوم اصفهان، کرج و مشهد (KRJ1,2، ESF1,2 و MSH1,2) نیز صادق است. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها نشان‌دهنده عملکرد مشابه آنها در شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌ها است. زاویه بین محیط‌ها در درون هر یک از محیط‌های کلان فوق، کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان‌دهنده رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها است. روش GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری عملکرد ۱۶ لاین آزاده گرده افشان کلزا در چهار ایستگاه تحقیقاتی به مدت دو سال زراعی مورد استفاده قرار گرفت و گزارش شد که دو مولفه اصلی

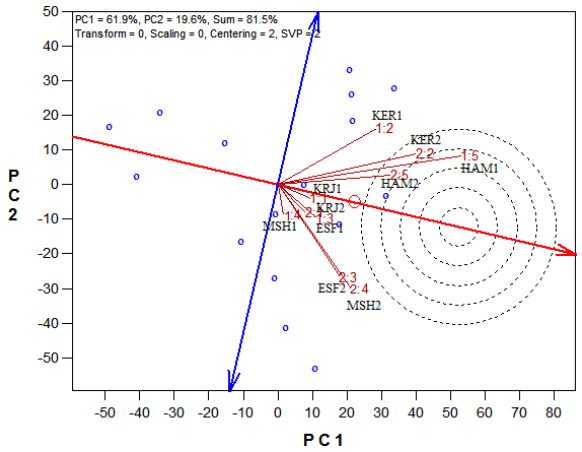
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

اول ۶۴/۹۰ درصد از تغییرات مشاهده شده را توجیه کرد. نمودار چند ضلعی بای‌پلات نشان داد که سه ژنوتیپ برتر در سه محیط کلان وجود داشتند (۳).

در مطالعه دیگری امیری اوغان و همکاران (۴) به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ کلزا در چهار منطقه دزفول، زابل، برازجان و بهبهان به مدت دوسال زراعی از روش GGE بای‌پلات استفاده کردند. نمای چند ضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ G12 پایدارترین ژنوتیپ برای بهبهان و دزفول و ژنوتیپ G14 پایدارترین ژنوتیپ برای برازجان و زابل بود. بر اساس بای‌پلات مختصات محیط متوسط، ژنوتیپ G12 به‌عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. همچنین بر اساس بای‌پلات مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ G12 به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و دارای عملکرد بالا در میان تمام ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها مشخص شد. نجفی‌میرک و همکاران (۲۰)، ۲۰ ژنوتیپ گندم را در ۸ محیط مورد بررسی قرار دادند. آنها با بررسی بای‌پلات چند ضلعی، دو محیط کلان و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ را شناسایی کردند. همچنین با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط لاین G5 با بیشترین عملکرد و پایداری به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. بررسی بای‌پلات همبستگی بین مناطق نشان داد که بردارهای محیطی منطقه خرم‌آباد با سه منطقه داراب، دزفول و اهواز دارای زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بوده و بیانگر عدم تشابه خرم‌آباد با این مناطق بود. در نهایت لاین‌های G5 و G10 با داشتن عملکرد بالا و پایداری عمومی بالا، به عنوان لاین های برتر برای مطالعات تکمیلی انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه نتایج تجزیه AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) با نتایج GGE بای‌پلات نشان داد تمام این شاخص‌ها پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها دارند. اما نتایج GGE بای‌پلات بسیار کاربردی بوده و می‌توان از آن به صورت گسترده‌ای در بررسی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح کلزای زمستانه استفاده کرد. بر اساس نتایج حاصل از این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۳ دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های کرمانشاه و همدان و ژنوتیپ شماره ۱۵ دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های کرج، اصفهان و مشهد در هر دو سال بودند و برای کشت در این مناطق مناسب هستند. همچنین ژنوتیپ‌های ۷ و ۲ جزء ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول شناخته شدند و می‌توان از آنها برای توسعه کشت کلزای زمستانه در مناطق هدف استفاده کرد.



شکل ۶- بای‌پلات مقایسه محیط‌های آزمایشی با محیط ایده‌آل و نمایش بردار روابط متقابل بین آنها بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا
Figure 6. Comparing different test environments with ideal and vector display of interrelationships between them based on seed yield of canola genotypes.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

منابع

1. Akter, A., M.J. Hasan, M.U. Kulsum, M.H. Rahman, A.K. Paul, L.F. Lipi and S. Akter. 2015. Genotype × environment interaction and yield stability analysis in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) by AMMI biplot. Bangladesh Rice Journal, 19(2): 79-866.
2. Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, Gh. Shiresmaeili, F. Nasserghadimi, H.R. 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. Journal of Crop Production and Processing, 11(1): 95-108 (In Persian).
3. Amiri Oghan, H., V. Rameeh, A. Faraji, A.H. Askari and H.R. Fanayi. 2021. Assessment of seed yield stability of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) promising lines using GGE-biplot analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 23(1): 113-126 (In Persian).
4. AmiriOghan, H., H. Zeinalzadeh-Tabrizi, H.R. Fanaei, N. Khatoon Kazerani, Gh. Ghodrati, A. Danaie and M.B. Valipuor. 2019. Investigation of stability of seed yield in promising lines of spring oilseed rape in southern warm regions of Iran. Journal of Crop Breeding, 11(31): 42-54 (In Persian).
5. Bassa, D., F. Gurmu and H. Mohammed. 2019. Comparison of univariate and multivariate models to analyze stability of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in Ethiopia. Agrotechnology, 8(188): 1-7.
6. Bornhofen, E., G. Benin, L. Storck, L.G. Woyann, T. Duarte, M.G. Stoco and S.V. Marchioro. 2017. Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. Bragantia, 76(1): 1-10.
7. Bocianowski, J., J. Niemann, K. Nowosad. 2019. Genotype-by-environment interaction for seed quality traits in interspecific cross-derived Brassica lines using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica, 215(7).
8. Dadras, A.R., M. Azimi, M. Khodadadi, M. Aghabeygi, A. Abdolahi and A. Mohamadi. 2020. Investigation the agronomic traits, yield and stability of different pea (Pisum Sativum L.) cultivars in tarom region of Iran using graphical analysis. Journal of Vegetables Sciences, 4(7): 113-130 (In Persian).
9. Dezfouli, P.M., M. Sedghi, M.E. Shariatpanahi, M. Niazian 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.
10. Eckes, A.H., H. Annemarie, T. Gubala, P. Nowakowski, T. Szymczyszyn, R. Wells, J.A. Irwin, C. Horro, J.M. Hancock, G. King, S.C. Dyer and W. Jurkowski. 2017. Introducing the Brassica information portal: towards integrating genotypic and phenotypic Brassica crop data. F1000 Research, 6:465.
11. Ghaffari, M., A. Gholizadeh, S.A. Andarkhor, A. Zareei Siahbidi, S.A. Kalantar Ahmadi, F. Shariati and A. Rezaeizad. 2021. Pattern analysis of genotype × environment interaction for seed yield in sunflower using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. Journal of Crop Breeding, 13(39): 208-218 (In Persian).
12. Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science, 46(4): 1488-1500.
13. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. Theoretical and Applied Genetics, 76: 1-10.
14. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agronomy Journal, 85(3): 754-757.
15. Liersch, A., J. Bocianowski, K. Nowosad, K. Mikołłajczyk, S. Spasibionek, F. Wielebski, M. Matuszczak, L. Szala, T. Cegielska-Taras, K. Sosnowska and I. Bartkowiak-Broda. 2020. Effect of genotype × environment interaction for seed traits in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) Agriculture, 10(12): 607.
16. Machado, N.G., N. Lotufo-Neto and K. Hongyu. 2019. Statistical analysis for genotype stability and adaptability in maize yield based on environment and genotype interaction models. Ciencia e Natur, 41: 01-09.
17. Mohamed, N.E.M. 2013. Genotype by environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Breeding and Crop Science, 7(5): 150-157.
18. Mohammadi, M., R. Karimizadeh, T. Hosseinpour, H. Ghojogh, K. Shahbazi and P. Sharifi. 2018. Use of parametric and non-parametric methods for genotype × environment interaction analysis in bread wheat genotypes. Plant Genetic Researches, 4(2): 75-88 (In Persian).
19. Nachit, M.M., H. Ketata and E. Acevedo. 1991. Selection of morpho-physiological traits for multiple abiotic stresses resistance in durum wheat. Physiology-breeding of winter cereal for stressed Mediterranean. Environments, 8(30): 391-400.
20. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2019. 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(28): 1-12 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

21. Omrani, S., A.M. Naji and M. Esmaeilzadeh Moghaddam. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agro climatic zone of Iran using GGE biplot model. Journal of Crop Breeding, 9(23): 157-165 (In Persian).
22. 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(3): 101-107.
23. 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).
24. Senguttuvel, P., N. Sravanraju1, V. Jaldhani1, B. Divya1, P. Beulah1, P. Nagaraju1, Y. Manasa, A.S. Hari Prasad, P. Brajendra1, C. Gireesh1, M.S. Anantha, K. Suneetha, R.M. Sundaram, M. Sheshu Madhav, M.D. Tuti1, L.V. Subbarao, C.N. Neeraja, V.P. Bhadana, P.R. Rao, S.R. Voleti and D. Subrahmanyam. 2021. Evaluation of genotype by environment interaction and adaptability in lowland irrigated rice hybrids for grain yield under high temperature. Scientific Reports. 11(15825).
25. Sinapidou, V., Ch. Pankou, F. Gekas, I. Sistanis, C. Tzantarmas, M. Tokamani, I. Mylonas, I. Papadopoulos, A. Kargiotidou, E. Ninou, F. Papathanasiou, R. Sandaltzopoulos and I.S. Tokatlidis. 2020. Plant yield efficiency by homeostasis as selection tool at ultra-low density. A comparative study with common stability measures in Maize. Agronomy, 10(8): 1203.
26. Sincik, M., A. Tanju Goksoy, E. Senyigit, Yahya Ulusoy, M. Acar, S. Gizlenci, G. Atagun and S. Suzer. 2021. Response and yield stability of canola (*Brassica napus* L.) genotypes to multi environments using GGE biplot analysis. Bioagro, 33(2): 105-114.
27. Spasibionek, S., K. Mikolajczyk, H. Cwiek Kupczynska, T. Pietka, K. Krotka and M. Matuszczak. 2020. Marker assisted selection of new high oleic and low linolenic winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) inbred lines revealing good agricultural value. Plos One, 15(6).
28. Szydlowska Czerniak, A., I. Bartkowiak Broda, I. Karlovic, G. Karlovits and E. Szlyk. 2011. Antioxidant capacity, total phenolics, glucosinolates and colour parameters of rapeseed cultivars. Food Chemistry, 127(2): 556-563.
29. 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(3): 500-511.
30. Vargas, M., J. Crossa, F. Van Eeuwijk, K.D. Sayre and M.P. Reynolds. 2001. Interpreting treatment × environment interaction in agronomy trials. Agronomy Journal, 93(4): 949-960.
31. Yan, W. 2001. GGE biplot- A windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93(5): 1111-1118.
32. 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(2): 643-655.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]

Evaluation of Seed Yield Stability and Compatibility in Some Winter Rapeseed Genotypes

Elaheh Shadan[1], Hamid Najafi Zarrini[2], Bahram Alizadeh[3], Gholamali Ranjbar[2] and Ghaffar Kiani[2]

1- PhD Student in Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: elahe_shadan96@yahoo.com)
2- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: 10 November 2021 Accepted: 1 Februrary 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Brassica napus (L.) one of the most important oilseeds in temprate climates. In the most breeding programs, especially when comparing several genotypes in different environments, due to the interaction of genotype×environment, genotypes show different performances in different environments. Therefore, to accurately estimate grain yield, multi-environment tests should be performed by breeders.

Material and Methods: In order to study the interaction between genotype × environment and identify stable genotypes, 16 rapeseed genotypes were tested in five regions of Karaj, Kermanshah, Isfahan, Mashhad and Hamedan in a randomized complete block design with three replications for two cropping years (2016-2017 and 2017-2018). In order to analyze the interactions of genotype with the environment, the model of additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) and the GGE biplot model (genotype and genotype interaction in the environment) were used. AMMI stability value (ASV) was used to evaluate the stability of genotypes.

Results: The Results of combined analysis of variance showed that 40.59, 26.01 and 33.39 percent of total variation were related to the effect of environment, genotype effect and genotype×environment interaction, respectively. The results showed that the first four main components of AMMI were significant and explained 85.5% of the total sum of squares of genotype×environment interaction. Stability assessment using ASV parameter showed that genotypes No. 7 and 2 had the highest stability, respectively. These genotypes with the lowest ASV rate and higher overall performance were known as genotypes with good general stability. The study of polygonal biplot of GGE recognized four superior genotypes and two mega-environments and the best genotypes within each environment were determined. The other five genotypes were located in sectors that no environment was present and these genotypes were weak in the most environments. Simultaneous study of the stability and yield of genotypes using average environment coordinate biplot showed that genotypes No. 13 and 15 were the most unstable genotype for grain yield. Genotype No. 9 was selected as highest grain yield and relative yield stability. The two genotypes No. 9 and 7 were the closest genotypes to the ideal genotype.

Conclusion: Analysis of AMMI and AMMI stability value (ASV) compared to GGE biplot showed that all of these indices had good potential for evaluating the stability of genotypes, but GGE biplot could be more widely used and more useful and can be applied extensively in the study of yield adaptability and stability of winter rapeseed genotypes in multi-envirnmental trials in breeding programs. Finally, genotypes No. 7 and 2 are recognized as most stable genotypes with the lowest interaction effect and mean yields higher than the mean average.

Keywords: Broad adaptability, Genotype × environment interaction, ideal genotype, Ideal environment, Multi-environment trial

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.41.97]