



مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری و سازگاری عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های کلزا زمستانه

الهه شادان^۱, حمید نجفی زرین^۲, بهرام علیزاده^۳, غلامعلی رنجبر^۲ و غفار کیانی^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسؤول): elaheshadan96@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: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

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 مخصوصاً در مقایسه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، به دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ظاهر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت است. بنابراین برای برآورد دقیق میزان عملکرد دانه، بایستی آزمایشات تکراردار منطقه‌ای توسط بهنژادگران انجام گیرد.

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

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بهترین ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ به اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود. نتایج نشان داد که چهار مؤلفه اصلی، مدل AMMI معنی‌دار بودند و درصد از مجموع مربوطات اثر متقابل، ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۲ با داشتن کمترین میزان ASV و عملکردی بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی خوب شناخته شدند. بررسی با پلات چند ضلعی منجر به شناسایی چهار ژنوتیپ برتر و دو محیط بزرگ شده و ژنوتیپ‌های مناسب از هر محیط بزرگ نیز مشخص گردید. پنج ژنوتیپ دیگر در نواحی قرار گرفتند که بیچ محیطی در آن قرار نداشت و ارقامی ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از پلات مختصات محیط متوسط نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۵ با عملکرد بالا جزو تاپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

ژنوتیپ ۹ با بالاترین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ نسبی گریش شد. همچنین دو ژنوتیپ ۹ و ۷ نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بودند. **نتیجه‌گیری:** تجزیه AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) در مقایسه با نتایج GGE با نتایج GGE با نتایج شناسخانه از پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند، اما GGE با پلات سیار کاربردی‌تر بوده و می‌تواند به صورت گسترده‌ای در بررسی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح کلزا زمستانه کار گفته شود. براساس 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

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. هر کدام از این روش‌ها بعداً خاصی از داده‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد ناحیه‌ای، را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (۱۸،۱۹). از جمله روش‌های اماراتی چند متغیره روش GGE bi-plot^۱, AMMI^۲, GGE^۳ است که برای تعیین پایداری و مؤلفه‌های اصلی (PCA) 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 به طور روش نیز 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 میزان میزانی از بسیاری است. از جمله اینکه، مقدار نسبتاً کمی از درجات آزادی اثر متقابل را شامل می‌شود. همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط را در

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از دانه‌های روغنی است که بعد از سویا به عنوان منبع تولیدکننده روغن خوارکی به شمار می‌رود (۹). به دلیل سازگاری وسیع و توانایی رشد در شرایط مختلف اقلیمی، گونه‌های مختلف براسیکا در سراسر جهان به منظور تهیه روغن خوارکی، علوفه حیوانات، سوخت‌های زیستی و کاربردهای صنعتی کشت می‌شود (۱۰). این ویژگی‌ها باعث شده است که کلزا به عنوان نقطه امیدی برای تأمین روغن خوارکی مورد نیاز کشور به شمار 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 به عنوان یکی از سالم‌ترین روغن‌های گیاهی شناخته می‌شود (۲۸). عملکرد در گیاهان تحت تأثیر اثرات اصلی ژنوتیپ (G)، محیط (E) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (G × E) است (۱۰-۲۷). بنابراین، برای برآورد دقیق آن، نیاز به انجام آزمایش‌های تکراردار چندمحیطی است. در این آزمایشات، به طور 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

1- G plus GE interaction (GGE) biplot

3- Principal Componenet Analysis (PCA)

2- Additive Main Effect and Multiplicative Interaction (AMMI)

4- Singular Value Decomposition

پس از آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار پتانسیم و فسفر مورد نیاز به ترتیب از منابع کودی سولفات‌پتانسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات‌تریپل (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 پیدا شدن اولین غنچه‌های گل به میزان ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. در طول فصل رشد و نمو عملیات زراعی به طور مرتب انجام شد و از سوم سیستمیک دیماکارون (نیم لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) برای کنترل شته مومنی کلم استفاده شد. وجین علف‌های هرز بسته به نیاز سه تا چهار بار به صورت 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 نشستی انجام شد. عملکرد دانه پس از رسیدن فیزیولوژیک در هر تیمار با حذف دو خط کناری و نیم متر از ابتداء انتهای هر کرت بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. تجزیه مرکب مناطق پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید همگن بودن اشتباها آزمایشی انجام شد. برای تعیین پایداری و سازگاری ژنتیپ‌ها، از روش‌های GGE با پایلات و AMMI استفاده شد. برای محاسبه پایداری ژنتیپ‌ها از پارامتر پایداری (ASV)^۱ استفاده شد که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۲).

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPCA_1}{SSIPCA_2} (IPCA1\ Score) \right]^2 + (IPCA2\ Score)^2}$$

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

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

کانگ (۱۴) معتقد است، از نظر بهترزدگران و تولیدکنندگان گیاهان زراعی، انتخاب ژنتیپ‌ها براساس اثر ژنتیپ و یا اثر متقابل ژنتیپ در محیط به تهایی مدنظر نمی‌باشد. آنچه در بررسی ژنتیپ‌ها 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 ژنتیپ و اثر متقابل ژنتیپ × محیط اهمیت بالایی دارد. در روش GGE با پایلات اثر اصلی ژنتیپ (G) و اثر متقابل ژنتیپ و محیط (GE) از هم تفکیک نمی‌شوند و به همین دلیل یان و همکاران (۳۲) معتقدند که روش GGE با پایلات از نظر تجزیه داده‌های ژنتیپ در محیط موفق‌تر از روش AMMI است. از این روش در تحقیقات زیادی، بر روی گیاهان مختلف از جمله کلزا (۳، ۴، ۲۶)، لوبيا (۵)، ذرت (۱۶ و ۲۵)، نخد فرنگی (۸)، جو (۲۹)، گندم (۲۰، ۲۱) و برقج (۲۴) مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پژوهش ارزیابی ژنتیپ‌های کلزای زمستانه و اثر متقابل ژنتیپ در محیط با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE با پایلات و AMMI شناسایی ژنتیپ‌هایی با عملکرد پایدار، شناسایی و توصیه بهترین ژنتیپ‌ها برای گروه‌های محیطی مختلف، و نیز مقایسه کارآئی آن روش‌ها در شناسایی ژنتیپ‌هایی با عملکرد پایدار در محیط‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها

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

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

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

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

1- AMMI'S Stability Value

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

مکان	نوع اقلیم	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)	نوع خاک
کرج	معتدل سرد	۱۳۱۲	۲۵°۵۶'	۵۴°۵۱'	۳۰۰	لومی رسی
رمانشاه	معتدل سرد	۱۳۴۶	۳۴°۰۸'	۴۷°۲۶'	۴۳۸	سیلتی رسی
اصفهان	معتدل سرد	۱۵۴۵	۳۲°۳۵'	۵۱°۴۰'	۱۳۸	سیلتی رسی
مشهد	سرد	۱۰۵۰	۳۵°۴۳'	۵۹°۱۵'	۲۱۲	سیلتی رسی
همدان	سرد	۱۷۵۸	۳۵°۱۲'	۴۸°۴۰'	۲۳۰	شنبی لومی

کد مکان: =KJR1=کرج سال اول، =KJR2=کرج سال دوم، =KER1=کرمانشاه سال اول، =ESF1=اصفهان سال دوم، =ESF2=اصفهان سال اول، =HAM1=همدان سال اول و =HAM2=همدان سال دوم، =MSH1=مشهد سال اول، =MSH2=مشهد سال دوم.

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 ژنتیک درصد بالایی از تغییرات موجود در داده‌ها را بهم خود اختصاص داده است.

در مدل AMMI مجموع مربعات اثر متقابل ژنتیک × محیط، به چهار مؤلفه اصلی اثرات متقابل IPCA1، IPCA3 و IPCA4 و اثر باقیمانده تجزیه شد. سهم مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل از مجموع مربعات اثر متقابل ژنتیک × محیط به ترتیب $51/6$ ، $51/7$ ، $19/7$ و $8/2$ درصد بود. دو مؤلفه اصلی اول در مجموع $71/3$ درصد از اثرات متقابل را توجیه کردند. در بررسی اثر متقابل محیط × ژنتیک صفات کیفیت بذر لاین‌های مشتق شده از تلاقی بین گونه‌ای کلزا توسط روش امی سه مؤلفه اول معنی دار شد و سهم این سه مؤلفه از مجموع مربعات اثر متقابل را $85/38$ درصد گزارش کردند (۷). طی پژوهشی با انجام تجزیه پایداری بر روی عملکرد هیبریدهای برنج تحت شرایط تنفس گرمایی، با روش امی سهم دو مؤلفه اصلی اثر متقابل از مجموع مربعات اثر متقابل ژنتیک × محیط، $57/2$ درصد گزارش شد (۲۴).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس با مدل AMMI (جدول ۳) نشان می‌دهد اثر ژنتیک، محیط و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری دارند. معنی‌داری اثر محیط، بیانگر تنوع بین محیط‌ها است که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد دانه ژنتیک‌ها می‌شود. معنی‌داری اثر ژنتیک بیانگر این است که بین ژنتیک‌های مختلف تنوع ژنتیکی کافی برای عملکرد دانه وجود دارد. همچنین معنی‌داری برهمنکشن ژنتیک × محیط نشان دهنده تفاوت در پاسخ ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر عملکرد ژنتیک در محیط‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. اثرات اصلی ژنتیک و محیط به ترتیب $26/4$ و $40/6$ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص دادند. و همچنین اثر متقابل ژنتیک × محیط $33/4$ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد. بیشترین درصد توجیه، مربوط به محیط و بعد از آن مربوط به اثر متقابل ژنتیک × محیط می‌باشد. درصد بالاتر اثر محیط نسبت به ژنتیک 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 ژنتیک × محیط نیز نشان از اهمیت انجام تجزیه پایداری دارد. علیزاده و همکاران (۲) در کلزا 57

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل امی برای عملکرد دانه ژنتیک‌های 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	درجہ آزادی	میانگین مربعات توجیه شده (درصد)	مجموع مربعات توجیه شده (درصد)
محیط	۹	۸۴۵۳۸۸**	۴۰/۵۹
محیط × (تکرار)	۲۰	۶۴۷۹۹۱	-
ژنتیک	۱۵	۳۲۵۰۲۲۸**	۲۶/۰۱
محیط × ژنتیک	۱۳۵	۴۶۳۶۳۱**	۳۳/۳۹
IPCA۱	۲۳	۱۴۰۳۵۴۱/۴**	۵۱/۶
IPCA۲	۲۱	۵۸۷۳۵۲/۶**	۱۹/۷
IPCA۳	۱۹	۲۹۹۴۹۵۷/۱**	۹/۰
IPCA۴	۱۷	۳۰۲۱۲۱/۳**	۸/۲
باقي مانده (نویز)	۵۵	۱۳۱۵۲۸/۳**ns	۱۱/۵
خطا	۳۰۰	۹۸۹۸۸/۹	-
کل	۴۷۹	۱۳۷۹۳۳۱/۹	-

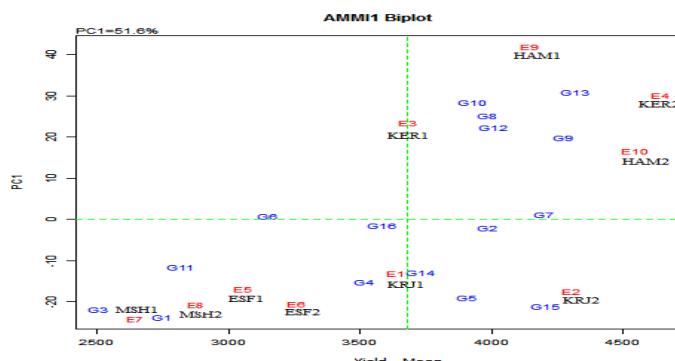
** و ns: بهترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار

عملکرد بالاتر، و ژنتیک‌ها و محیط‌هایی که در سمت چپ این خط قرار دارند دارای عملکرد پایین‌تر، از میانگین کل هستند. محور افقی در میانه نمودار نشان دهنده $IPC11=0$

بر اساس بای‌پلات ۱ AMMI (شکل ۱) که در آن خط عمود در میانه نمودار از میانگین کل آزمایش می‌گذرد، ژنتیک‌ها و محیط‌هایی که در سمت راست این خط قرار می‌گیرند دارای

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 میزان ASV 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.

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 و ۷ دارای کمترین اثر متقابل با محیط می‌باشند و از بین آنها ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۶ به دلیل داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصلو 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 ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با داشتن



شکل ۱ – بایبلات 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)

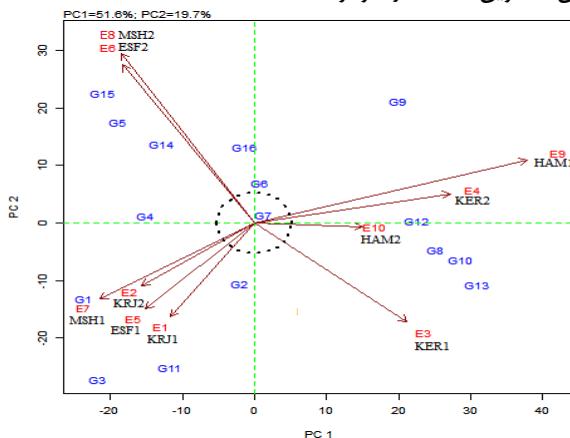
جدول ۴- ارزش پایداری روش امی (ASV) و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا

Table 4. ASV of AMMI method and the values of first and second main components in winter rapeseed lines

ASVi	IPCA2	IPCA1	میانگین	ژنوتیپ
۴۰/۶۱	-۱۳/۲۱	-۲۲/۷۴	۲۷۴۵/۴۳	۱
۱۰/۹۹	-۱۰/۴۸	-۲/۰۵	۳۹۸۳/۵۷	۲
۴۴/۴۹	-۲۷/۱۸	-۲۱/۷۷	۲۵۰۲/۰۷	۳
۲۴/۵۲	۱/۱۵	-۱۵/۱۴	۳۵۱۶/۷۷	۴
۳۵/۴۵	۱۷/۲۴	-۱۹/۰۸	۳۹/۷/۹۳	۵
۷/۰۱	۶/۹۰	.۰/۷۶	۳۱۴۷/۲۳	۶
۲/۴۷	۱/۳۹	۱/۲۶	۴۱۹۶/۹۳	۷
۴۰/۹۷	-۴/۶۶	۲۵/۱۶	۳۹۰۸۶/۲۳	۸
۳۸/۴۶	۲۱/۱۶	۱۹/۸۵	۴۲۲۷/۵۳	۹
۴۶/۵۸	-۶/۴۲	۲۸/۵۲	۳۹۳۱/۷۷	۱۰
۳۱/۴۵	-۲۵/۱۹	-۱۱/۶۴	۲۸۲۰/۲۷	۱۱
۳۶/۲۷	.۰/۴۱	۲۲/۴۲	۴۰۰۷/۵۷	۱۲
۵۱/۱۱	-۱۰/۸۰	۳/۰/۸۸	۴۳۱۹/۷۷	۱۳
۲۴/۸۸	۱۳/۶۸	-۱۲/۸۵	۳۷۳۰/۹۷	۱۴
۴/۹۵	۲۲/۶۰	-۲۱/۱۱	۴۲۷/۳۳	۱۵
۱۳/۴۲	۱۳/۲۱	-۱/۴۶	۳۵۸۴/۴	۱۶

بایپلات کمترین مشارکت را در ایجاد اثر متقابل داشتند. محیط ۳ و ۴ نیز به دلیل داشتن کمترین فاصله از مبدأ بایپلات نه تنها کمترین اثر را در میزان اثر متقابل داشتند بلکه بزرگترین عامل در پایداری فتوتیپ ژنتیک‌ها بودند (۱۶). ژنتیک‌ها و محیط‌هایی که بر روی بایپلات در موقعیت نزدیک یکدیگر قرار می‌گیرند دارای رابطه و همبستگی مثبتی با هم هستند و ژنتیک‌هایی 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 ژنتیکی بر روی بردار محیطی نشانگر میزان انحراف آن ژنتیک از میانگین آن محیط است هر چه میزان طول بردار ژنتیکی بیشتر باشد، میزان اثر متقابل آن ژنتیک 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 ژنتیک‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۱ دارای سازگاری خصوصی بالایی با این محیط‌ها هستند. هر چند با توجه به میانگین عملکرد تنها ژنتیک ۲ برای این مناطق توصیه می‌شود. همچنین محیط‌های مشهد و اصفهان سال دوم (ESF2 و MSH2) نیز با یکدیگر تمرکز محیطی بالایی داشته و ژنتیک‌های 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 ژنتیک‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۳ از سازگاری خصوصی بالایی با این محیط‌ها برخوردار هستند.

بایپلات AMMI2 (شکل ۲) جمعاً ۷۱/۳٪ تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کرد. به طوری که مؤلفه اصلی اول سهم بیشتری (۵۱/۶٪) از مؤلفه دوم (۱۹/۷٪) را دارد. قوارگیری ژنتیک در مرکز محور مختصات بایپلات به این معنی است که آن ژنتیک دارای سازگاری عمومی با محیط‌های مورد بررسی است. بر اساس بایپلات AMMI2 ژنتیک شماره ۷ با داشتن کمترین فاصله از مرکز بایپلات نسبت به سایر ژنتیک‌های مورد آزمایش پایدارترین ژنتیک تشخیص داده شد و بعد از آن ژنتیک‌های شماره ۶، ۲، ۱۶ و ۴ در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند. از بین این ژنتیک‌ها، ژنتیک‌های شماره ۷ و ۲ با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنتیک‌هایی با سازگاری عمومی خوب و با عملکرد بالا شناسایی شدند. ژنتیک‌های شماره ۱۳، ۱۱، ۱۰، ۱، ۳، ۲ و ۱ با داشتن بیشترین فاصله از مرکز بایپلات AMMI2 بیشترین اثر متقابل را نسبت به سایر ژنتیک‌ها از خود نشان دادند و حساس‌ترین ژنتیک‌ها نسبت به اثر متقابل محیطی بودند. محیط‌های مشهد و کرمانشاه در هر دو سال (KER1,2 و HAM1) و همدان سال اول (MSH1,2) در ایجاد اثر متقابل سهم بهسزایی اصفهان سال دوم (ESF2) در ایجاد اثر متقابل منفی را به وجود آورد. همدان داشتند و دارای بیشترین فاصله از مبدأ بایپلات بودند که در بین آنها محیط همدان در سال اول (HAM1) بزرگترین اثر متقابل مشیت را ایجاد کرد و محیط مشهد در سال اول (MSH1) بزرگترین اثر متقابل 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 ژنتیک‌های ۱، ۵، ۶ و ۷ با داشتن کمترین فاصله از مرکز



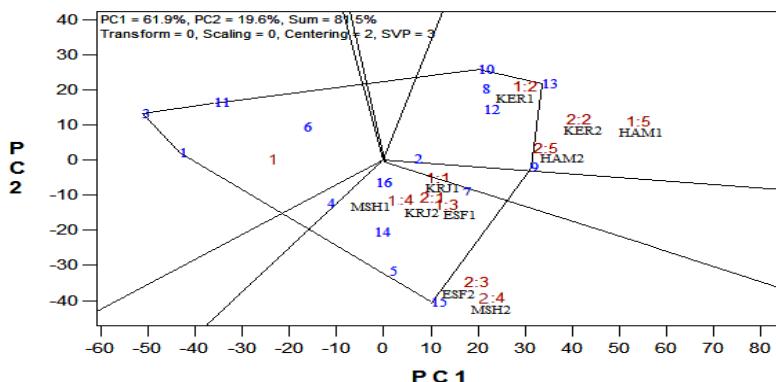
شکل ۲ – نمودار بایپلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل (AMMI2)
Figure 2. Biplot based on value of two main principal components of interaction (AMMI2)

نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل محیط × ژنتیک 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 ژنتیک‌هایی که حداقل فاصله را از مبدأ بایپلات دارند بدست می‌آید. با توجه به نمودار ژنتیک‌های شماره ۱۳، ۱۰، ۹، ۱۵ و ۱ با داشتن بیشترین فاصله از مرکز بایپلات، به عنوان ژنتیک‌هایی با بیشترین و یا کمترین عملکرد شناسایی

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 مؤلفه ۸۱/۵ درصد از کل تغییرات ژنتیک × محیط × ژنتیک 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،

۱۱ در بخشی قرار گرفتند که هیچ محیطی در آن وجود ندارد. در واقع این ژنوتیپ‌ها در هیچ یک از محیط‌ها 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) 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.

شدند. با رسم خطوط عمود بر وسط اصلاح این چند ضلعی محیط‌های بزرگتر شناسایی شدند. در این شکل همدان و کرمانشاه در هر دو سال (KER1,2 و MSH1,2) در یک گروه و مکان‌های کرج، مشهد و اصفهان در هر دو سال (ESF1,2 و KJ1,2) در گروه دیگر قرار گرفتند. محیط‌های بزرگ دارای دو ویژگی هستند اول، ژنوتیپ‌های برتر 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 MSH1,2) بود قرار داشتند و برتر بودند. ژنوتیپ ۱۵ در محیط شامل سال اول و دوم کرج، مشهد و اصفهان (KJ1,2 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

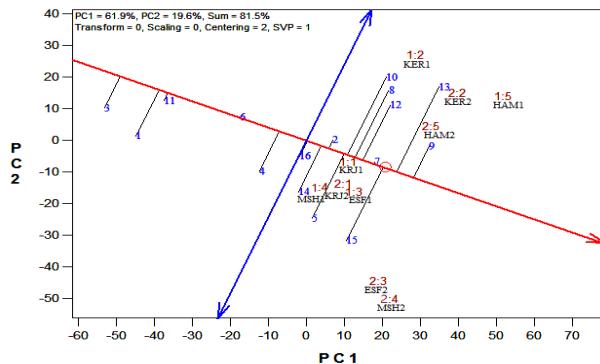


شکل ۳- تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات و نمایش الگوی کدام-برتر-کجا بر اساس میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در محیط‌های آزمون مختلف

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

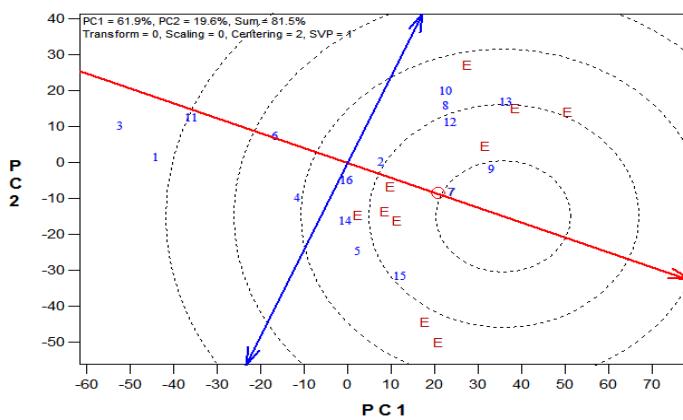
نشدند. ژنوتیپ شماره ۹ با بالاترین عملکرد دانه به عنوان ژنوتیپی با پایداری عملکرد نسبی گزینش شد. ژنوتیپ شماره ۷ و ۲ با توجه به فاصله کم با محور افقی و عملکرد بالاتر از میانگین به عنوان ژنوتیپ‌هایی پایدار انتخاب شد. (شکل ۵) بای‌پلات مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی را نشان می‌دهد. ژنوتیپ ایده‌آل، دارای بیشترین میانگین عملکرد است و کاملاً پایدار است و بروز محور افقی (AEC) قرار می‌گیرد. در واقعیت چنین رقم ایده‌آلی به ندرت وجود دارد، اما مزیت این گراف نسبت به گراف‌های قبیل 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 متحدم‌المرکز 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 قرار دارند. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱ و ۱۱ به دلیل داشتن بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل جزو نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها با کمترین عملکرد قرار دارند.

از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC) (شکل ۴) بهمنظور بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. در این نمودار دو محور عمود بر هم نشان‌دهنده اثربروی محیط × ژنوتیپ است. محوری که از مبدأ بای‌پلات و محیط متوسط، که توسط یه دایره کوچک نشان داده شده است می‌گذرد، محور محیط متوسط می‌باشد و بیانگر میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های است 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 مبدأ بای‌پلات می‌گذرد میزان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد و معیار پایداری و یا بی ثباتی 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 نظری ژنوتیپ شماره ۳ و ۱ دارای کمترین عملکرد هستند. بلندتر بودن تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور افقی (صرفه نظر از جهت آن) نشان‌دهنده ناپایداری و بی ثباتی 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



شکل ۴- بردار محیط متوسط (AEC) پایداری عملکرد دانه ژنتیپ‌های 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 ژنتیپ‌های کلزا با ژنتیپ ایده‌آل بر مبنای عملکرد و پایداری

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

مثبت با یکدیگر هستند و مربوط به یک محیط کلان می‌باشند و رفتار ژنتیپ‌ها در این محیط‌ها تقریباً 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 ژنتیپ‌ها رفتاری متفاوت نشان می‌دهند. زاویه بین محیط‌های سال اول و دوم همدان و کرمانشاه (KER1,2) و (HAM1,2) بسیار کم تر از ۹۰ درجه می‌باشد و نشان دهنده همبستگی بالای این محیط‌ها با یکدیگر می‌باشد. همچنین این موضوع در مورد محیط‌های سال اول و دوم اصفهان، کرج و مشهد (2, KRJ1,2, ESF1,2, MSH1,2) نیز صادق است. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها نشان دهنده عملکرد مشابه آنها در شناسایی و تفکیک ژنتیپ‌ها است. زاویه بین محیط‌ها در درون هر یک از محیط‌های کلان فوق، کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان دهنده رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنتیپ‌ها است. روش GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری عملکرد ۱۶ لاین آزاده گرده افshan کلزا در چهار ایستگاه تحقیقاتی به مدت دو سال زراعی مورد استفاده قرار گرفت و گزارش شد که دو مولفه اصلی

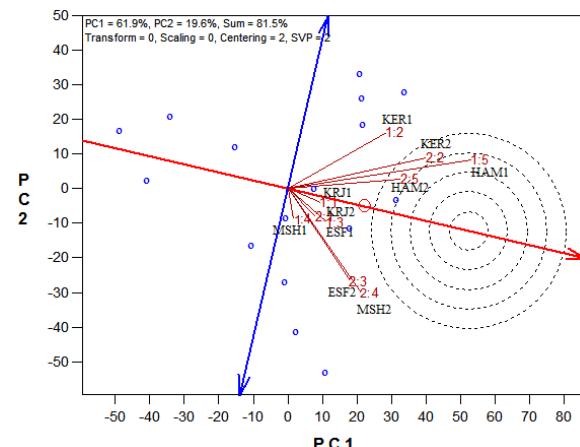
برای یافتن ایده‌آل ترین محیط از (شکل ۶) استفاده شد. محیط آزمون ایده‌آل باید متمایز کننده و نمایانگر باشد. محیط ایده‌آل نیز، همانند ژنتیپ ایده‌آل در واقعیت ممکن است وجود نداشته باشد ولی می‌تواند به عنوان نقطه مرجع مورد استفاده قرار گیرد. محیط ایده‌آل در مرکز یک مجموعه از دوازده هم مرکز که به منزله یک خط کش برای اندازه‌گیری فاصله بین یک محیط و محیط ایده‌آل به کار می‌رود، 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 مبدأ بای‌پلات متصل هستند. کسینوس زاویه بین دو بردار برآورده از ضریب همبستگی بین محیط‌ها را بیان می‌کند و طول بردار برآورده 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

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 لاین‌های برتر برای مطالعات تکمیلی انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه نتایج تجزیه AMMI و شاخص پایداری امی (ASV) با نتایج GGE با پلات نشان داد تمام این شاخص‌ها پاتنسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها دارند. اما نتایج GGE با پلات بسیار کاربردی بوده و می‌توان از آن به صورت گستره‌ای در بررسی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح کلزا 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 کلزا زمستانه در مناطق هدف استفاده کرد.

اول ۶۴/۹۰ درصد از تغییرات مشاهده شده را توجیه کرد. نمودار چند ضلعی با پلات 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 با پلات استفاده کردند. نمای چند ضلعی با پلات نشان داد که ژنوتیپ G12 پایدارترین ژنوتیپ برای بهبهان و دزفول و ژنوتیپ G14 پایدارترین ژنوتیپ برای برازجان و زابل بود. بر اساس با پلات مختصات محیط متوسط، ژنوتیپ G12 به عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. همچنین بر اساس با پلات مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ G12 به عنوان ژنوتیپ پایدار و دارای عملکرد بالا در میان تمام ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها مشخص شد. نجفی‌میرک و همکاران (۰)، ۲۰ ژنوتیپ گندم را در ۸ محیط مورد بررسی قرار دادند. آنها با بررسی با پلات چند ضلعی، دو محیط کلان و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ را شناسایی کردند. همچنین با استفاده از با پلات مختصات محیط متوسط لاین G5 با بیشترین عملکرد و پایداری به عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. بررسی با پلات همبستگی بین مناطق نشان



شکل ۶- با پلات 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.

منابع

- Akter, A., M.J. Hasan, M.U. Kulsum, M.H. Rahman, A.K. Paul, L.F. Lipi and S. Akter. 2015. Genotype \times environment interaction and yield stability analysis in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) by AMMI biplot. *Bangladesh Rice Journal*, 19(2): 79-866.
- Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, Gh. Shiresmaeli, F. Nasserghadimi, H.R. Khademhamzeh and A. Gholizadeh. 2021. Analysis of genotype \times 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).
- 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).
- AmiriOghan, H., H. Zeinalzadeh-Tabrizi, H.R. Fanaei, N. Khatoon Kazerani, Gh. Ghodrati, A. Danaie and M.B. Valipour. 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).
- 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.
- 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.
- 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).
- 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).
- 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.
- 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.
- Ghaffari, M., A. Gholizadeh, S.A. Andarkhor, A. Zareei Siahbidi, S.A. Kalantar Ahmadi, F. Shariati and A. Rezaeizad. 2021. Pattern analysis of genotype \times 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).
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4): 1488-1500.
- 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.
- Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85(3): 754-757.
- Liersch, A., J. Bocianowski, K. Nowosad, K. Mikollajczyk, S. Spasibionek, F. Wielebski, M. Matuszczak, L. Szala, T. Cegielska-Taras, K. Sosnowska and I. Bartkowiak-Broda. 2020. Effect of genotype \times environment interaction for seed traits in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agriculture*, 10(12): 607.
- 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.
- 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.
- Mohammadi, M., R. Karimizadeh, T. Hosseinpour, H. Ghojogh, K. Shahbazi and P. Sharifi. 2018. Use of parametric and non-parametric methods for genotype \times environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genetic Researches*, 4(2): 75-88 (In Persian).
- 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.
- 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).

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. Senguttuvvel, 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.

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

Elaheh Shadan¹, Hamid Najafi Zarrini², Bahram Alizadeh³, Gholamali Ranjbar² and Ghaffar Kiani²

1- PhD Student in Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,
(Corresponding author: elaheshadan96@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 February 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: *Brassica napus* (L.) one of the most important oilseeds in temperate climates. In the most breeding programs, especially when comparing several genotypes in different environments, due to the interaction of genotype \times 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 \times 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 \times 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 \times 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-environmental 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 \times environment interaction, ideal genotype, Ideal environment, Multi-environment trial