



"مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری عملکرد دانه برخی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از روش GGE biplot

سید حامد قاسمی^۱، خداداد مصطفوی^۲، محمود خسروشاهلی^۳، محمدرضا بی همتا^۴ و حسین رامشینی^۵

۱- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: mostafavi@kiaou.ac.ir)
۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج
۵- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۳
صفحه: ۱۱ تا ۲۰

چکیده مسبوط

مقدمه و هدف: کلزا یکی از بهترین گیاهان روغنی در ایران و جهان می‌باشد. با توجه به وابستگی ایران به واردات دانه های روغنی و وجود شرایط مناسب برای تولید این محصول، تعیین ژنوتیپ های پایدار از نظر عملکرد دانه و توصیه بهترین ژنوتیپ ها برای گروه های محیطی مختلف ضروری است.

مواد و روش‌ها: به منظور مطالعه اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط، تعداد ۱۰ رقم کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در پنج منطقه شامل بیرجند، کرج، کاشمر، سمنجان و شیراز در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، کشت و از نظر عملکرد دانه ارزیابی شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، تیمار و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار می‌باشد. محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱۲، ۱۴ درصد از واریانس داده‌ها را به خود اختصاص دادند. در بین محیط‌ها بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به کرج با میانگین عملکرد ۶/۵۱ تن در هکتار بود. در بین ارقام بیشترین عملکرد دانه مربوط به Hyola401 و Okapi به ترتیب برابر با ۵/۵۴ و ۵/۲۰ تن در هکتار بود. مؤلفه‌های اول و دوم در روش GGE biplot به ترتیب ۸۸/۸ و ۵/۹ درصد و مجموعاً ۹۴/۷ از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمود. نمودار بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد، ژنوتیپ‌های Hyola401 و Opera را تحت عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا معرفی کرد. با استفاده از نمودار چند ضلعی بای‌پلات، شش ژنوتیپ برتر و سه ابرمحیط شناسایی شد. نمودار روابط میان ارقام، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در دو گروه طبقه‌بندی نمود. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های Modena، Option500، Modena، Hyola308، Okapi و Opera، Hyola401، Sarigol، Likord، Zarfam، کرج، بیرجند و سمنجان ژنوتیپ‌های Hyola401 و Opera، در محیط کاشمر ژنوتیپ Zarfam و در محیط شیراز ژنوتیپ Okapi مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه بودند. ژنوتیپ Likord دارای پایداری عمومی نسبت به تمام محیط‌ها بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که ژنوتیپ Hyola401 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از مطلوبیت بیشتری برخوردار بوده و همچنین منطقه کرج در بین محیط‌های مورد مطالعه از میانگین عملکرد بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش ژنوتیپ و محیط، تجزیه گرافیکی، تجزیه مرکب، کلزا

مقدمه

ویژگی‌های خاص کلزا و سازگاری آن با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط ایران سبب شده است که کشت این گیاه به شدت توسعه یابد، بنابراین انتخاب رقم مناسب برای موفقیت تولید محصول، حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. آزمایش‌های مقایسه عملکرد به‌عنوان یکی از روش‌های گزینش ارقام پر محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱). با وجود شرایط اقلیمی متنوع در ایران تحقیقات محدودی در رابطه با پایداری عملکرد دانه ارقام مختلف کلزا صورت گرفته است. با توجه به وابستگی شدید ایران به واردات دانه‌های روغنی و نیز وجود شرایط مناسب برای تولید این محصول، انجام اینگونه تحقیقات بسیار ضروری می‌باشد. بافت خاک، اسیدیته، عمق، مواد آلی، حاصلخیزی، بیماری‌ها و آفات مهمترین عوامل تغییرپذیری محیط هستند (۲۲). ارقامی سازگار شناخته می‌شوند که در طیفی از محیط‌ها، توان ژنتیکی عملکرد بالا و پایدار را بروز دهند. ارقام با سازگاری وسیع در یک سری از محیط‌ها معمولاً عملکرد متوسط و پایداری دارند، ولی ارقامی که فقط در شرایط مطلوب، پتانسیل ژنتیکی محصول‌دهی بالایی داشته و در شرایط نامساعد، دارای عملکرد ضعیفی باشند، به‌عنوان ارقامی با سازگاری محدود شناخته می‌شوند (۱۵، ۱۶).

برهمکنش ژنوتیپ و محیط، پاسخ یک ژنوتیپ به تغییرات موجود در محیط است (۳) و آگاهی از ماهیت آن به به‌نژادگران کمک می‌کند تا بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب کنند (۸). برهمکنش ژنوتیپ و محیط تعیین سهم دقیق ارقام اصلاح‌شده و محیط را در عملکرد مهم می‌سازد (۲۰، ۲۳). روش‌های آماری متعددی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده است. این روش‌ها به دو گروه اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند (۱۱). از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش GGE biplot اشاره کرد (۱۸، ۲۳). روش GGE biplot یک راه‌حل ممتاز برای تلفیق میانگین عملکرد و پایداری و تبدیل آن‌ها به یک معیار را فراهم می‌کند که می‌توان آن را به‌صورت گرافیکی ارزیابی کرد (۶). این روش که بر اساس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام می‌شود سبب افزایش آگاهی ما نسبت به اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و فائق آمدن بر محدودیت‌های مربوط به روش تک متغیره ANOVA می‌شود (۳۰). این روش سبب آشکار شدن واکنش هر رقم در محیط‌های مختلف می‌شود (۴). از کاربردهای مهم GGE biplot، شناسایی و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی محصولات مختلف

هدف از این مطالعه، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از مدل GGE biplot به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد دانه و توصیه بهترین ژنوتیپ(ها) برای گروه‌های محیطی مختلف بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی پایداری عملکرد ۱۰ رقم کلزا (جدول ۱)، آزمایشی در سال ۹۸-۱۳۹۷ در پنج منطقه شامل بیرجند، کرج، کاشمر، سمنان و شیراز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار انجام گرفت. بذور مورد نظر از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند. مشخصات جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. عملیات زراعی شامل شخم و دیسک در تمامی مناطق مورد مطالعه یکسان بود.

هر کرت آزمایشی دارای چهار ردیف کشت به طول چهار متر به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. تمامی مراحل داشت از قبیل آبیاری، وجین و تنک کردن به‌طور مرتب و براساس نیاز گیاه در هر منطقه، انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه هر رقم بر اساس تن در هکتار در تمام آزمایش‌ها ارزیابی شد. برای این منظور از دو ردیف وسط و با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط استفاده شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات همه ایستگاه‌ها، ابتدا آزمون بارتلت جهت تعیین همگنی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف انجام شد و پس از آن، تجزیه واریانس مرکب با در نظر گرفتن محیط به عنوان عامل تصادفی و رقم به عنوان عامل ثابت انجام شد. از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ جهت آزمون بارتلت و تجزیه مرکب داده‌ها استفاده شد.

برای تعیین پایداری ارقام از روش چند متغیره گرافیکی GGE biplot با استفاده از نرم‌افزار GGE biplot بر مبنای شش الگوی: ۱- ارزیابی همزمان ارقام از نظر عملکرد دانه و پایداری، ۲- تعیین بهترین رقم در هر محیط، ۳- بررسی روابط میان ارقام، ۴- رتبه‌بندی ارقام بر اساس بهترین محیط، ۵- طبقه‌بندی محیط‌ها بر اساس بهترین رقم و ۶- مطالعه روابط بین محیط‌ها و بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه زیر استفاده گردید (۲۴):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

در این رابطه Y_{ij} میانگین ژنوتیپ i ام در محیط j ام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط j ام، λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξ_{i1} و ξ_{i2} بردارهای ویژه ژنوتیپی و η_{j1} و η_{j2} بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ i ام در محیط j ام هستند (۲۵).

است. با استفاده از GGE biplot محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند (۱۸). ویژگی منحصر به فرد GGE biplot آن است که به استناد نمودارهای حاصل می‌توان نشان داد، کدام رقم در کدام محیط یا زیر گروه از پتانسیل بالاتری برخوردار است (۷).

یان و همکاران در مطالعه‌ای با هدف مقایسه دو روش AMMI و GGE biplot نشان دادند کارایی و دقت روش بای‌پلات بیشتر از روش امی می‌باشد (۲۷). خوش نظر پرشکوهی و همکاران در بررسی سازگاری و مقایسه عملکرد لاین‌های کلزا به مدت سه سال بیان کردند که لاین کرج ۱۶ با سازگاری عمومی مطلوب و رقم‌های کونیتا، جنتوف و یانوش با سازگاری عمومی متوسط جهت کشت در کلیه مناطق آزمایش یا مناطقی با شرایط مشابه، قابل توصیه هستند (۱۳).

در مطالعه‌ای ارقام مختلف کلزا در پنج منطقه در شیلی ارزیابی شدند. در این تحقیق اعلام شد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط سهم مهمی در تبیین واریانس کل دارد. اولین و دومین مؤلفه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PC1, PC2) ۷۴/۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمود. در این مطالعه مناطق مورد نظر به دو ابر محیط^۱ تقسیم شدند (۶).

جاویدفر و همکاران، تعداد ۲۴ ژنوتیپ زمستانه کلزا را در نه منطقه سرد و معتدل ایران مورد بررسی قرار دادند. ژنوتیپ‌های SLM046 و Parade با سازگاری خیلی خوب به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب انتخاب شدند (۱۰).

امیری اوغان و همکاران، تعداد ۲۳ ژنوتیپ کلزا را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت ۲ سال (۱۳۷۹-۱۳۸۱) در ۴ منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. آنچه از این مطالعه نتیجه گرفته شد این بود که ژنوتیپ Hyola401 می‌تواند به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین و امیدبخش‌ترین ژنوتیپ‌ها جهت کشت در مناطق مورد مطالعه معرفی شود. ژنوتیپ‌های Hyola308 و S-2 نیز با داشتن سازگاری عمومی مناسب تقریباً در همه مناطق قابل کشت می‌باشند، در صورتی که بقیه ژنوتیپ‌ها به‌ویژه ژنوتیپ ساری گل (Sarigol) با وجود دارا بودن پایداری متوسط از عملکرد قابل توجهی برخوردار نبودند (۱).

مصطفوی و همکاران در مطالعه‌ای روی ده رقم کلزا در چهار منطقه با استفاده از روش بای‌پلات مناسب‌ترین رقم برای هر مکان را مشخص نمودند و در بین محیط‌های مورد مطالعه سه ابر محیط را تشخیص دادند. در این مطالعه ارقام Licord و SLM046 به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین واکنش ژنوتیپی به مناطق را داشتند (۱۹).

جدول ۱- نام و شماره ارقام کلزای مورد بررسی

Table 1. Names and code of canola cultivars studied in the experiment

کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	منشا	کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	منشا
G1	Sarigol	Iran	G6	Likord	Germany
G2	Hyola308	Canada	G7	Okapi	France
G3	Option500	Germany	G8	Hyola401	Canada
G4	Opera	Sweden	G9	Zarfam	Iran
G5	Sunday	Denmark	G10	Modena	Denmark

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Tale 2. Geographical feature of the experiment Location

منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین بارندگی (میلی متر)
کرج	۵۰° ۵۴' E	۳۵° ۵۵' N	۱۳۱۲	۲۹۵
بیرجند	۵۹° ۱۲' E	۳۲° ۵۲' N	۱۴۹۱	۱۷۱
شیراز	۵۲° ۳۶' E	۲۹° ۳۲' N	۱۴۸۴	۳۳۷/۸
کاشمر	۵۸° ۴۸' E	۳۵° ۵۳' N	۱۱۰۹	۱۷۸
سندج	۴۷° ۰۰' E	۳۵° ۲۰' N	۱۳۷۳	۴۹۲

نتایج و بحث

صفت پیچیده‌ای می‌باشد که چندین عامل از قبیل تراکم بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه آن را کنترل می‌کنند. به این دلیل عملکرد دانه دارای تغییرپذیری زیادی بوده و بستگی به رقم، محیط رشد و اثر متقابل آنها دارد (۵). در این تحقیق سهم محیط در توجیه واریانس داده‌ها ۷۴ درصد بود. سهم ژنوتیپ ۱۲ درصد و سهم اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز ۱۴ درصد برآورد گردید (جدول ۳). برار و همکاران در بررسی شش رقم کلزا در مناطق مختلف هندوستان نشان دادند که سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط به ترتیب ۷۸/۷، ۷/۶ و ۱۳/۶ درصد می‌باشد (۲).

آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی جهت بررسی یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف انجام گرفت که مؤید یکنواختی خطاهای آزمایشی بود ($p \geq 0.05$). نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان می‌دهد که امکان گروه‌بندی محیط‌ها براساس اثر متقابل وجود دارد (۱۷). وجود تنوع در پاسخ ارقام کلزا به محیط‌های مختلف نشان می‌دهد که امکان بهبود عملکرد دانه و بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی وجود دارد. عملکرد دانه

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در پنج منطقه

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield of canola cultivars in 5 environments

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد واریانس
محیط	۴	۴۴۳/۵۷۵	۱۱۰/۸۹۳	۷۴
خطای ۱	۱۰	۴/۳۶۶	۰/۴۳۶	
ژنوتیپ	۹	۷۳/۷۴۲	۸/۱۹۳**	۱۲
ژنوتیپ × محیط	۳۶	۸۱/۶۰۹	۲/۲۶۶**	۱۴
خطای ۲	۹۰	۵۱/۰۸۰	۰/۵۲۱	
CV (%)				۱۵/۸۳۹

**، * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

گرفتند. بیشترین عملکرد دانه مربوط به ارقام Hyola401، Opera، Okapi، Sarigol و Zarfam به ترتیب با میانگین عملکرد ۵/۵۴، ۵/۳۱، ۵/۲۰، ۵/۱۰ و ۵/۰۶ تن در هکتار بود.

مقایسه میانگین ارقام مورد بررسی از نظر عملکرد دانه با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد (جدول ۴). بر این اساس ارقام در گروه‌های مختلفی قرار

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام کلزا با استفاده از روش دانکن

Table 4. Mean comparison for grain yield in canola cultivars base Duncan method

ردیف	رقم	میانگین عملکرد (تن در هکتار)
۱	Hyola401	۵/۵۴ ^{ad}
۲	Sarigol	۵/۳۱ ^a
۳	Okapi	۵/۲۰ ^a
۴	Zarfam	۵/۱۰ ^a
۵	Opera	۵/۰۶ ^a
۶	Likord	۴/۴۴ ^D
۷	Sunday	۴/۳۷ ^D
۸	Hyola308	۴/۱۲ ^{bc}
۹	Option500	۳/۷۸ ^c
۱۰	Modena	۳/۲۱ ^d
	میانگین کل	۴/۶۱

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

اصلی اول و دوم به ترتیب ۸۸/۸ و ۵/۹ درصد و مجموعاً ۹۴/۷ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمودند. تحقیقات نشان می‌دهد که در صورتی که مجموع دو مولفه اول حداقل ۶۰ درصد از تنوع داده‌ها را توجیه نمایند این مدل از اعتبار مناسبی برخوردار می‌باشد (۲۹).

با توجه به وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، تجزیه واریانس مرکب قادر به تبیین پایداری ژنوتیپ‌ها نمی‌باشد، لذا جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از تجزیه گرافیکی GGE biplot براساس روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده گردید. نتایج حاصل از روش GGE biplot نشان داد که دو مولفه

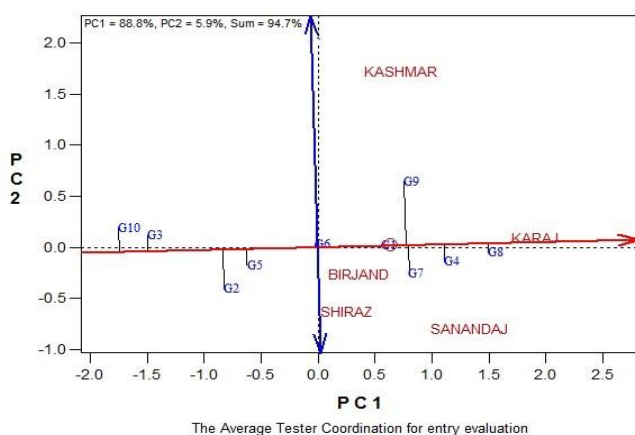
کاشمر می‌باشد. مکان‌های کرج، سنندج و بیرجند در بخشی واقع شده‌اند که ژنوتیپ‌های (G8) Hyola401 و Opera (G4) در آن قرار گرفته‌اند، پس این ژنوتیپ‌ها بهترین ژنوتیپ‌ها برای این مکان‌ها هستند، بعد از این دو ژنوتیپ، ژنوتیپ (G1) Sarigol بهترین ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ‌های (G2) Hyola308 و Sunday (G5) در بخشی هستند که مکان شیراز در آن واقع شده است. هیچ محیطی در بخشی که ژنوتیپ‌های Option500 (G3) و (G10) Modena در آن قرار دارند، واقع نشده که مؤید این موضوع است که این ژنوتیپ‌ها در هیچ محیطی برتری نداشته و جزء ژنوتیپ‌های ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. همچنین ژنوتیپ (G6) Likord در مرکز بای‌پلات قرار گرفت که مؤید عکس‌العمل یکسان آن به محیط‌های مورد مطالعه بوده به عبارتی این ژنوتیپ دارای سازگاری عمومی می‌باشد. محیط‌های مورد مطالعه به سه ابر محیط تقسیم شدند. ابر محیط اول شامل کرج و سنندج در مرکز و غرب ایران، ابر محیط دوم شامل شیراز و بیرجند در جنوب و جنوب شرق ایران و ابر محیط سوم شامل کاشمر در نواحی شرقی ایران (شکل ۲). به نظر برخی از محققین بدلیل اینکه این نمودار (which-won-where pattern) تکرارپذیر نمی‌باشد امکان جدا نمودن محیط‌های کاشت به صورت ابر محیط‌های حقیقی وجود ندارد (۲۱). تعیین ابر محیط‌ها به محقق کمک می‌کند تا در مطالعات آینده از تکرار آزمایش در محیط‌های مشابه و خرج هزینه‌های هنگفت جلوگیری نماید. شکل ۳ همبستگی و روابط بین ژنوتیپ‌ها را نمایان می‌سازد. در این نمودار هر اندازه که زاویه بین بردارهای ژنوتیپ‌ها کوچکتر باشد، بین آن‌ها همبستگی بیشتری وجود دارد. به‌طور کلی کسینوس زاویه بین بردارها میزان همبستگی را نشان می‌دهد (۱۲). در صورتی که زاویه بین بردارها کم‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیانگر این است که بین ژنوتیپ‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند. در صورتی که زاویه بین بردارها بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌ها به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های (G9) Zarfam، (G6) Likord، (G1) Sarigol، (G8) Hyola401، (G4) Opera، (G7) Okapi و (G2) Hyola308، (G5) Sunday، (G3) Option500 و (G10) Modena بود. میان ژنوتیپ‌های قرار گرفته در داخل هر گروه همبستگی بالایی وجود دارد که این نشان‌دهنده پاسخ مشابه این ژنوتیپ‌ها در هر یک از مکان‌های مورد مطالعه است، بنابراین بین رتبه عملکرد این ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود. ژنوتیپ‌های (G9) Zarfam با (G2) Hyola308، (G8) Hyola401 با (G3) Option500 و (G4) Opera با (G10) Modena دارای همبستگی منفی بودند. بنابراین در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر دورگ‌گیری توصیه می‌شود ارقامی به‌عنوان والد استفاده شوند که در گروه‌های متفاوتی قرار دارند. در شکل ۴ ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در بهترین محیط رتبه‌بندی شده‌اند. بدین منظور از مبدأ مختصات خطی به

به‌منظور مطالعه هم‌زمان ارقام از نظر عملکرد دانه و پایداری از نمودار شماره ۱ بهره برده شد. ارزیابی چشمی ارقام از نظر میانگین عملکرد و پایداری موضوع مهمی در ارزیابی ارقام می‌باشد (۲۵). در این نمودار، محوری که با یک پیکان مشخص شده (محور افقی یا AEC- abscissa) و از میانگین محیط‌ها (دایره) گذشته است، تعیین‌کننده عملکرد ارقام می‌باشد، به طوری که هر رقمی که سمت راست این محور قرار گرفته باشد از عملکرد بیشتری برخوردار است. میانگین محیط‌ها از طریق محاسبه میانگین ارزش PC1 و PC2 برای تمام محیط‌ها حاصل می‌شود. محوری که با دو پیکان مشخص شده (محور عمودی یا AEC- ordinate) مؤید پایداری یا ناپایداری ارقام کلزا می‌باشد. ژنوتیپ‌هایی که فاصله بیشتری از مبدأ این محور داشته باشند از پایداری کمتری برخوردارند. به عبارتی ارقامی که فاصله عمود بیشتری از محور AEC- abscissa داشته باشند از پایداری کمتری برخوردارند (۲۶). بنابر توضیحات ارائه شده، به ترتیب ارقام (G8) Hyola401 و (G4) Opera از عملکردی بیشتر از میانگین و پایداری بالایی برخوردار بودند و تحت عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد مطلوب شناسایی شدند. رقم (G1) Sarigol روی محور افقی قرار گرفته و نشان می‌دهد که دارای پایداری بالایی می‌باشد، این رقم از عملکرد مناسبی هم برخوردار است. ژنوتیپ شماره (G6) Likord دارای کمترین فاصله از محور افقی بود اما از نظر عملکرد دانه ضعیف بوده و عملکردی نزدیک به میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها داشت. ژنوتیپ‌های (G3) Option500 و (G10) Modena از پایداری مناسبی برخوردار بودند اما از لحاظ عملکرد دانه نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها مناسب نبودند و کمترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ (G9) Zarfam از نظر عملکرد دانه، دارای عملکردی بیشتر از میانگین کل ارقام بود اما به لحاظ پایداری رضایت‌بخش نبود و از بیش‌ترین ناپایداری برخوردار بود (شکل ۱). لازم به یادآوری است که این روش ارقام را بصورت کامل از یکدیگر متمایز نمی‌کند و از آنجائی که آزمون فرض مطرح نمی‌باشد، نتایج حاصل بر ارزیابی‌های چشمی استوار است (۲۹). نتایج این نمودار مطابقت خوبی با نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) دارد.

نمودار چندوجهی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های روش بای‌پلات جهت تعیین بهترین ژنوتیپ برای هر منطقه و شناسایی ابر محیط‌ها می‌باشد (۹). چندضلعی مشاهده شده از اتصال ژنوتیپ‌هایی حاصل می‌شود که بیشترین فاصله را از مبدأ مختصات دارند، به طوری که سایر ژنوتیپ‌ها داخل این چندوجهی قرار می‌گیرند. سپس خطوطی از مبدأ مختصات بر اضلاع این چندضلعی عمود گردیده تا شکل به چند بخش (sector) تقسیم شود (۲۸). در این شکل پنج بخش مشاهده می‌شود. ژنوتیپ‌های (G9) Zarfam، (G8) Hyola401، (G7) Okapi، (G2) Hyola308 و (G10) Modena در رأس این چندضلعی قرار گرفته‌اند. مکان کاشمر در بخشی قرار گرفته که ژنوتیپ (G9) Zarfam در رأس آن است و این بدان معنی است که این ژنوتیپ بهترین ژنوتیپ برای

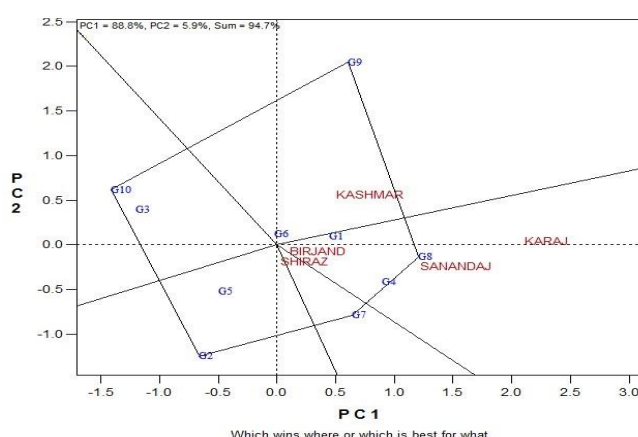
همبستگی موجود بین محیطها می تواند روابط بین محیطها را آشکار ساخته و برای آزمایشهای آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگر دو یا چند محیط با یکدیگر همبستگی داشته باشند می توان آزمایشها را فقط در یک محیط اجرا نمود (۱۸). در این نمودار کسینوس زاویه بین بردارهای محیطها بیانگر میزان همبستگی و طول بردار بیانگر قدرت محیطها در تمیز ژنوتیپها (Discriminativeness) می باشد. اگر زاویه بین محور دو محیط حاده باشد، همبستگی آن دو محیط مثبت خواهد بود. اگر زاویه بین محور دو محیط منفرجه باشد همبستگی آن دو محیط منفی خواهد بود (۱۴). بر این اساس مکانهای شیراز، بیرجند و سنندج دارای همبستگی مثبت و بالائی هستند. سنندج با کرج نیز همبستگی بالائی داشت. همبستگی موجود بین شیراز و کاشمر با توجه به افزایش بسیار زیاد زاویه بین بردارهای این دو مکان منفی می باشد (شکل ۶).

مکان مورد نظر یعنی کرج وصل می شود و به دو طرف امتداد می یابد. ژنوتیپهایی که متمایل به انتهای مثبت این محور باشند در منطقه مذکور از عملکرد رضایت بخشی برخوردار هستند اما ژنوتیپهایی که در قسمت منفی نمودار قرار گرفته اند دارای عملکرد نامطلوبی هستند. بر اساس این نمودار ترتیب ارقام از نظر عملکرد دانه به شرح زیر می باشد:
 $G10 < G3 < G2 < G5 < G6 < G1 < G9 < G7 < G4 < G8$
 شکل ۵ نمایش دهنده رتبه بندی محیطها بر اساس بهترین ژنوتیپ می باشد. بر اساس این نمودار ژنوتیپ G8 که به عنوان بهترین ژنوتیپ در این بررسی شناخته شد، محیط شیراز به عنوان نامطلوب ترین محیط جهت کشت آن معرفی نمود. رتبه بندی محیطها بر اساس این ژنوتیپ به قرار زیر می باشد:
 کرج < سنندج < کاشمر < بیرجند < شیراز



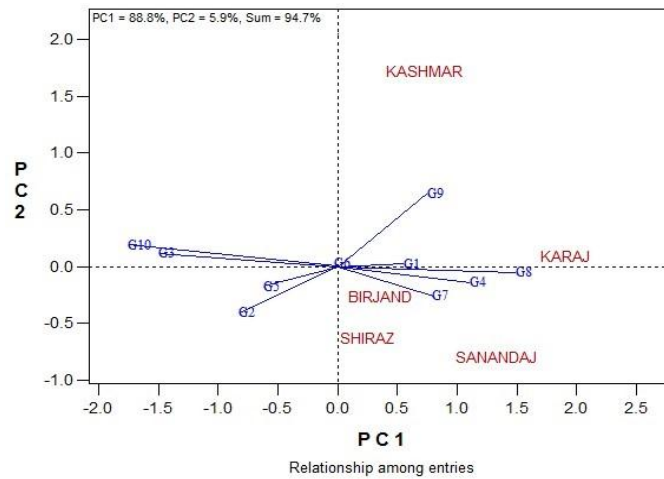
شکل ۱- نمایش میانگین محیطها جهت ارزیابی همزمان عملکرد دانه و پایداری ۱۰ رقم کلزا در ۵ محیط

Figure 1. The average environment coordination (AEC) for simultaneous evaluation of grain yield and yield stability in 10 canola cultivars in 5 environments, (G1: Sarigol, G2: Hyola308, G3: Option500, G4: Opera, G5: Sunday, G6: Likord, G7: Okapi, G8: Hyola401, G9: Zarfam, G10: Modena)



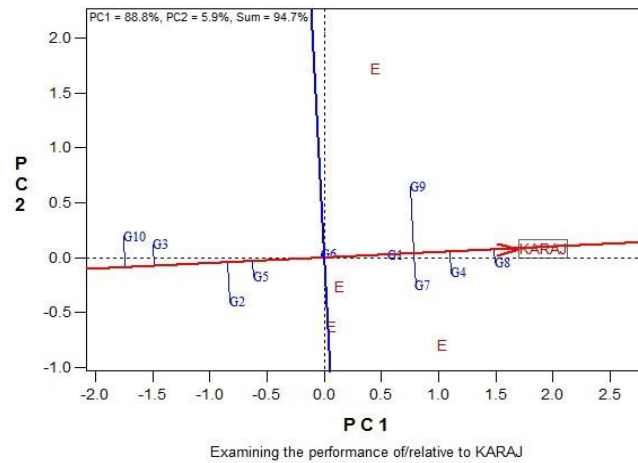
شکل ۲- نمایش چند ضلعی GGE biplot جهت ارزیابی مطلوب بودن هر رقم در هر مکان

Figure 2. GGE biplot polygon view based on symmetrical scaling for the which-won-where pattern of genotypes and environments (G1: Sarigol, G2: Hyola308, G3: Option500, G4: Opera, G5: Sunday, G6: Likord, G7: Okapi, G8: Hyola401, G9: Zarfam, G10: Modena)



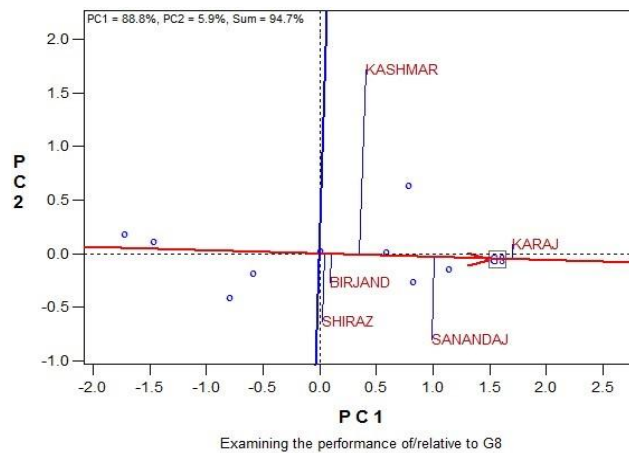
شکل ۳- نمودار Biplot برای بررسی همبستگی بین ارقام کلزا

Figure 3. Biplot diagram for investigation of correlation between studied canola cultivars (G1: Sarigol, G2: Hyola308, G3: Option500, G4: Opera, G5: Sunday, G6: Likord, G7: Okapi, G8: Hyola401, G9: Zarfam, G10: Modena)



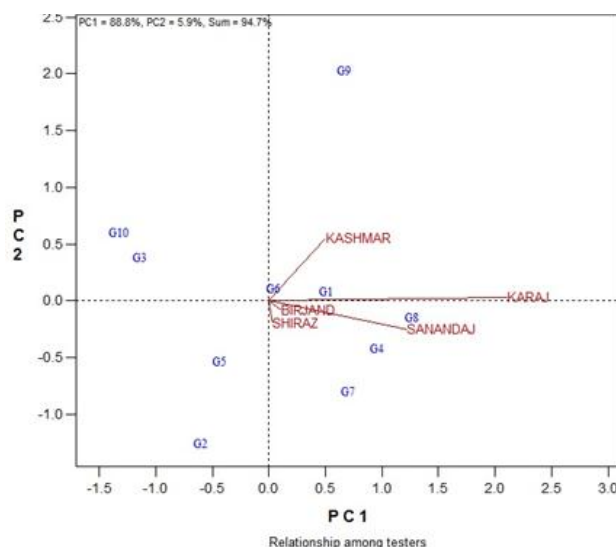
شکل ۴- نمودار GGE biplot جهت رتبه‌بندی ارقام کلزا بر اساس عملکرد دانه در منطقه کرج

Figure 4. GGE biplot graph of canola cultivars ranking based on grain yield in Karaj. (G1: Sarigol, G2: Hyola308, G3: Option500, G4: Opera, G5: Sunday, G6: Likord, G7: Okapi, G8: Hyola401, G9: Zarfam, G10: Modena)



شکل ۵- نمودار GGE biplot برای رتبه‌بندی محیطها بر اساس بهترین رقم (Hyola401 (G8))

Figure 5. GGE biplot graph of environments ranking based on the best cultivar (Hyola401 (G8))



شکل ۶- نمودار Biplot برای بررسی همبستگی بین محیط در بررسی ارقام کلزا

Figure 6. Biplot diagram for investigation of correlation between environments in canola cultivars test (G1: Sarigol, G2: Hyola308, G3: Option500, G4: Opera, G5: Sunday, G6: Likord, G7: Okapi, G8: Hyola401, G9: Zarfam, G10: Modena)

خزانه ژنتیکی (Gene pool) کلزا با دقت بیشتری دنبال شود. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز ۱۴ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داد، بنابراین امکان معرفی رقم مناسب برای هر منطقه وجود دارد. در مکان‌های کرج، بیرجند و سنندج ارقام Hyola401 و Opera بهترین ارقام بودند. در کاشمر ژنوتیپ Zarfam و در محیط شیراز ژنوتیپ Okapi مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه بودند. ژنوتیپ Likord از بالاترین پایداری عمومی برخوردار بود که مفهوم آن این است که این رقم در تمامی محیط‌ها از عملکرد متوسط و نسبتاً پایداری برخوردار می‌باشد.

این تحقیق ژنوتیپ‌های متعددی را شناسایی نمود که دارای عملکرد دانه و پایداری خوبی در مناطق مورد بررسی بودند. به دلیل اینکه این ارقام دارای رتبه‌های مختلفی نسبت به رقم ایده آل بودند ارقام بسیار خوبی هم در بین آنها وجود داشت. وجود تنوع معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها از نظر شجره و پیشینه وراثتی نیز با یکدیگر متفاوت می‌باشند. در این آزمایش رقم Opera که دارای منشأ سوئد و رقم Hyola401 که دارای منشأ کانادا می‌باشند از عملکرد دانه و پایداری قابل قبولی برخوردار بودند. بنابراین به نظر می‌رسد امکان بهره‌برداری از منابع ژنتیکی خارجی نیز وجود دارد، این موضوع به می‌تواند باعث افزایش تنوع ژنتیکی خزانه ژنی این محصول شود و در تحقیقات آینده هم مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

اطلاع از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای تولید کنندگان و به‌نژادگران می‌تواند بسیار مفید باشد زیرا آنها را قادر می‌سازد تا با اتخاذ استراتژی‌های مناسب در زمینه مدیریت‌های زراعی و روش‌های مناسب گزینش تا حد ممکن اثر متقابل را کاهش دهند.

نتایج نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط یکی از منابع مهم تنوع در کلزا می‌باشد و بهره‌برداری از این موضوع می‌تواند بسیار مهم و نتایج سودمندی داشته باشد. رتبه‌بندی مناطق و ارزیابی ابرمحیط‌ها مشخص نمود که مناطقی که در عرض‌های جغرافیایی پائین قرار دارند نسبت به مناطقی که دارای عرض جغرافیایی بالاتری هستند دارای واکنش متفاوتی نسبت به ارقام هستند، بنابر این به نظر می‌رسد برای هر کدام از این ابرمحیط‌ها لازم است ارقام مخصوص به آن منطقه تهیه شود. این بررسی نشان داد که روش GGE biplot روش مفیدی برای آنالیز پایداری ارقام از نظر عملکرد دانه می‌باشد. این روش به خوبی تفاوت‌ها و شباهت‌های بین ارقام، تنوع بین محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را به نمایش گذاشت. در این تحقیق اثر محیط ۷۴ درصد از واریانس داده‌ها را به خود اختصاص داد. از آنجائی که کاهش اثر محیط ممکن نمی‌باشد به نظر می‌رسد که اصلاح کنندگان گیاه باید به دنبال بهره‌برداری از سایر منابع تغییر قابل کنترل باشند. نقش اثر ژنوتیپ در تبیین واریانس کل ۱۲ درصد بود. با توجه به تنوع زیاد در منابع ژنتیکی کلزا پیشنهاد می‌شود ارزیابی

منابع

1. Amiri, O.H., Z.K.M. Alem and F. Javidfar. 2004. Stability of seed yield in spring Rapeseed (*brassica napus* L.) genotypes.
2. Brar, K.S., P. Singh, V.P. Mittal, P. Singh, M.L. Jakhar, Y. Yadav and C. Kumar. 2016. GGE biplot analysis for visualization of mean performance and stability for seed yield in taramira at diverse locations in India. *Journal of Oilseed Brassica*, 1(2): 66-74.
3. Crossa, J., P.N. Fox, W.H. Pfeiffer, S. Rajaram and H.G. Gauch. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*, 81(1): 27-37.
4. D'Andrea, K.E., M.E. Otegui, A. Cirilo and G. Eyherabide. 2006. Genotypic variability in morphological and physiological traits among maize inbred lines. I. Response to nitrogen availability. *Crop Science*, 46: 1266-1276.
5. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Field crops research*, 67(1): 35-49.
6. Escobar, M., M. Berti, I. Matus, M. Tapia and B. Johnson. 2011. Genotype \times environment interaction in canola (*Brassica napus* L.) seed yield in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(2): 175.
7. Farshadfar, E., R. Mohammadi, M. Aghaee and Z. Vaisi. 2012. GGE biplot analysis of genotype \times environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6): 1074-1079.
8. Gauch Jr, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop science*, 46(4): 1488-1500.
9. Gauch Jr, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop science*, 37(2): 311-326.
10. Javidfar, F., M.H. Alam-Khoomaram, H. Amiri-Oghan and S.H. Azizinia. 2004. Stability of seed yield in winter rapeseed (*Brassica napus*) genotypes. *Seed and Plant*, 20(3): 315-328.
11. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia and M.K. Shefazadeh. 2012. Using Huehn's nonparametric stability statistics to investigate genotype \times environment interaction. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1): 293-301.
12. Khatamain, O.S., S.A.M. Modares Sanavy, F. Ghanati and M. Mostavafi. 2011. Evaluation of yield, its components and some morphological traits of sixteen rapeseed oil cultivars in arak region. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 21(3): 147-161.
13. Khoshnazar-Porshokohei, R., M.R. Ahmadi and M.R. Ghannadha. 2000. A study of adaptation and yield capacity of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars and lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 31(2): 341-352.
14. Kroonenberg, P.M. 1995. Introduction to biplot for $G \times E$ tables. Res. Rep. 51. Dep. of Mathematics, Univ. of Queensland, Brisbane, Australia.
15. Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lefkovich. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop science*, 26(5): 894-900.
16. Lin, C.S. and G. Butler. 1990. Cluster analyses for analyzing two-way classification data. *Agronomy Journal*, 82(2): 344-348.
17. Ma, B.L., W. Yan, L.M. Dwyer, J. Fregeau-Reid, H.D. Voldeng, Y. Dion and H. Nass. 2004. Graphic analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. *Agronomy Journal*, 96(1): 169-180.
18. Makumbi, D., A. Diallo, F. Kanampiu, S. Mugo and H. Karaya. 2015. Agronomic Performance and Genotype \times Environment Interaction of Herbicide-Resistant Maize Varieties in Eastern Africa. *Crop Science*, 55(2): 540-555.
19. Mostafavi, K., H. Shojaei, N. Khodarahmi and A. Mohammadi. 2010. The interaction of genotype and environment in canola with using GGE biplot graphical methods. In *Third International Seminar of oilseeds and edible oils*. Tehran: Coordination Center of Science and Industry Oilseeds.
20. Muller, M.H., F. Delieux, J.M. Fernandez-Martinez, B. Garric, V. Lecomte, G. Anglade and R. Segura. 2009. Occurrence, distribution and distinctive morphological traits of weedy *Helianthus annuus* L. populations in Spain and France. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(6): 869-877.
21. Navabi, A., R.C. Yang, J. Helm and D.M. Spaner. 2006. Can spring wheat-growing megaenvironments in the northern Great Plains be dissected for representative locations or niche-adapted genotypes? *Crop Science*, 46(3): 1107-1116.
22. Roozeboom, K.L., W.T. Schapaugh, M.R. Tuinstra, R.L. Vanderlip and G.A. Milliken. 2008. Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. *Crop Science*, 48(1): 317-330.
23. Roy. D. 2000. *Plant breeding: Analysis and exploitation of variation*. Alpha Science Int'l Ltd.

24. Yan. W. 2001. GGEbiplot-A Windows application for graphical analysis of multi environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy journal*, 93(5): 1111-1118.
25. Yan. W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi environment trial data. *Agronomy Journal*, 94(5): 990-996.
26. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop science*, 40(3): 597-605.
27. 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): 643-653.
28. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1): 11-20.
29. Yang, R.C., J. Crossa, P.L. Cornelius and J. Burgueño. 2009. Biplot analysis of genotype \times environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, 49(5): 1564-1576.
30. Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch Jr .1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy journal*, 80(3): 388-393.

Investigation of Grain yield Stability in Canola (*Brassica napus* L.) Cultivars using GGE-biplot Method

Seyed Hamed Ghasemi¹, Khodadad Mostafavi², Mahmoud Khosroshahli³, Mohammad Reza Bihamta⁴ and Hossein Ramshini⁵

1- Department of Biotechnology and Plant Breeding, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, (Corresponding authors: mostafavi@kia.ac.ir)

3- Department of Biotechnology and Plant Breeding, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- College of Agriculture & Natural Resources (UCAN), University of Tehran, Karaj, Iran

5- College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Aboureyhan campus, Pakdasht, Iran

Received: 18 December, 2020 Accepted: 4 September, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Rapeseed is one of the most important oilseeds in Iran and the world. Due to Iran's dependence on imports of oilseeds and the existence of suitable conditions for the production of this product, it is necessary to determine stable genotypes in terms of grain yield and recommend the best genotypes for different environmental groups.

Materials and Methods: In order to study the effect of genotype and environment interaction, 10 rapeseed cultivars were planted in a randomized complete block design with three replications in five regions including Birjand, Karaj, Kashmar, Sanandaj and Shiraz and evaluated for grain yield in 2018-2019.

Results: The results of combined analysis of grain yield showed that the effect of environment, treatment and genotype \times environment interaction were significant. Environment, genotype and genotype \times environment interaction accounted for 74, 12 and 14% of the total variance, respectively. Among the locations, the highest grain yield was related to Karaj with an average yield of 6.51 tons per hectare. Among the studied cultivars, the highest grain yield was related to Hyola401 and Okapi cultivars at 5.54 and 5.20 t / ha, respectively. The first and second components of GGE biplot explained 88.8% and 5.9% of grain yield changes, respectively. Simultaneous study of stability and performance base Biplot method introduced Hyola401 and Opera genotypes as stable, high-performance genotypes. Using a biplot polygon view, six superior genotypes and three mega-environments were identified. Diagrams of relationships between cultivars classified the studied genotypes into two groups. The first group included Zarfam, Likord, Sarigol, Hyola401, Opera and Okapi genotypes and the second group included Hyola308, Modena, Option500 and Modena cultivars. Hyola401 and Opera genotypes In Karaj, Birjand and Sanandaj environments, Zarfam genotype in Kashmar and Okapi genotype in Shiraz were the most desirable genotypes. The Likord genotype had general stability to all environments.

Conclusion: In general, it can be concluded that Hyola401 genotype is more desirable than other genotypes and also Karaj region has a higher average yield among the studied environments.

Keywords: Canola, Complex variance, Genotype-environment interaction, Graphical analysis