

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات

Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method

فاطمه شیخ<sup>۱</sup>، حسین آسترکی<sup>۲</sup>، خالد میری<sup>۳</sup> و رضا سخاوت<sup>۴</sup>

چکیده

شیخ، ف.، ح. آسترکی، خ. میری، و ر. سخاوت. ۱۴۰۳. ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۱): ۷۰-۵۵.

این پژوهش به منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش باقلا، ۱۱ لاین امید بخش همراه با چهار رقم فیض، شادان، مهتا و برکت (شاهد)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر) به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۹) انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به ترتیب با سهم ۶۰/۰۷، ۱۹/۸ و ۲۰/۰۷ درصد از تنوع کل عملکرد دانه، معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای پلات دو مؤلفه اصلی اول (ژنوتیپ) و دوم (برهمکنش ژنوتیپ و محیط) در مجموع ۷۶/۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. بر اساس نمودار چند ضلعی، دو محیط کلان و ژنوتیپ‌های سازگار برای هر محیط شناسایی شدند. براساس نزدیکی به مبدأ بای پلات، ژنوتیپ‌های G1، G3، G4 و G14 دارای پایداری عمومی بالا شناخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل GGE و GEI بای پلات، محیط گرگان در هر دو سال آزمایش از قدرت تفکیک بالایی برخوردار بود و به عنوان مکان مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا شناخته شد. بر اساس نتایج تجزیه بای پلات ژنوتیپ G6 (Barkat $\times$ New mammoth) در همه محیط‌ها از لحاظ عملکرد و پایداری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. ژنوتیپ‌های G10 (HBP/SOE/99)، G9 (ILB1266)، G2 (Barkat $\times$ ILB 5284) و G4 (Barkat $\times$ Giza Blanka)، علاوه بر پایداری عملکرد، دارای عملکرد دانه بالاتر از ارقام شاهد بودند و بنابراین برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و در ادامه برای توسعه کشت باقلا در مناطق هدف مناسب شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، پایداری عملکرد، ژنوتیپ مطلوب و محیط کلان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۴ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی ۹۷۱۲۵۱-۲۸۱-۰۳-۵۷-۰۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: sheikhfatemeh@yahoo.com)

۲- محقق بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران

۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران

۴- مربی پژوهشی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

## Evaluation of genotype $\times$ environment interaction on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method

Sheikh, F.<sup>1</sup>, Asteraki, H.<sup>2</sup>, Miri, Kh.<sup>3</sup> and Sekhavat, R.<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Sheikh, F., Asteraki, H., Miri, Kh. and Sekhavat, R. 2024. Interaction of genotype  $\times$  environment on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 26(1): 55-70. (In Persian).

**Introduction:** Faba bean (*Vicia faba* L.) is a cool-season and annual seed legume crop used as an important cheap plant protein source for human food (green or dried, fresh or canned) and livestock feed. It is a very valuable legume crop that contributes to the sustainability of cropping systems with ability of biological nitrogen fixation. The aim of this study was to determine genotype  $\times$  environment interaction on seed yield and to identify high yielding with yield stability of faba bean genotypes adapted to target environments.

**Materials and Methods:** Seed yield and yield stability as well as adaptability of 15 faba bean promising lines were evaluated using randomized complete block design with three replications in four agricultural research field stations of Gorgan, Dezful, Brojerd and Iranshahr in Iran in 2018-19 and 2019-20 cropping seasons. Plant height and branch number.plant<sup>-1</sup> in each plot was measured before harvesting. Plots were harvested by hand at harvest maturity stage and seed number.pod<sup>-1</sup>, number of pod.plant<sup>-1</sup>, hundred seed weight and seed yield were measured. Data were analyzed using SAS software and the means were compared using LSD test. GGE-Biplot was used to analyse genotype  $\times$  environment interaction and yield stability of faba bean genotypes.

**Results:** Combined analysis of variance showed that environment, genotype and genotype  $\times$  environment interaction (GEI) were significant with contribution 60.07%, 19.8% and 20.07% to the total variation of seed yield, respectively. Yield stability 15 faba bean genotypes was studied using GGE biplot method across eight environments. GGE biplot analysis using a genotype  $\times$  environment interaction (GEI) model explained 76.5% of the total variation. GGE biplot components PC1 and PC2 explained 58.7% and 17.8% of the total variation, respectively. The GGE biplot analysis of the tested environments and genotypes revealed that the eight test environments comprised two mega environments and the adapted genotypes were determined for each mega-environment. In Gorgan, G10, G12, G13 and G3 genotypes were adapted, and in the second mega-environment, G6 genotype was adapted. The genotypes G6, G10, G7 and G9 with average seed yield of 2905, 2715, 2607 and 2552 kg.ha<sup>-1</sup> had higher seed yield and yield stability, respectively. Based on GEI and GGE biplot analysis, Gorgan experimental environments had good discrimination ability. The polygon view of biplot indicated genotypes; G1, G3, G4 and G14 were adapted to the tested environments according to the closest distance from biplot origin. The simultaneous study of the effect of genotype and GE interaction by average tester coordinate view of Biplot illustrated that genotypes; G6, G10, G7, G9 and G4, in addition to high seed yield had also higher yield stability compared with other genotypes. Ideal genotype view of Biplot indicated that G6 and G10 were the closest genotypes to the ideal genotype and identified as the most desirable genotypes.

**Conclusion:** Based on the GGE biplot analyses, the G6 (Barkat  $\times$  New mammoth) genotype with high seed yield and yield stability across all environments. Also G9 (ILB1266), G2 (Barkat  $\times$  ILB 5284) and G4 (Barkat  $\times$  Giza Blanka) genotypes had significantly higher seed yield and yield stability compared to control cv. Barakat (G11), G12 (Feyz), G13 (Shadan) and G14 (Mahta).

**Key words:** Faba bean, Ideal genotype, Mega environment, Yield stability

Received: February, 2024

Accepted: April, 2024

1. Associate Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran (Corresponding author) (Email: sheikhfatemeh@yahoo.com)

2. Researcher, Seed and Plant Improvement Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Brojerd, Iran

3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranshahr, Iran

4. Research Coach, Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

## مقدمه

گیاهان حبوباتی یک منبع پایدار در تغذیه انسان‌ها محسوب شده و به طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شوند. باقلا (*Vicia faba* L.) در بین حبوبات بعد از سویا (*Glycine max* L.) و نخود (*Pisum sativum* L.) از لحاظ اهمیت و ارزش غذایی رتبه سوم را دارد (Bangar and Kajla, 2022; Minguez and Rubiales, 2021). باقلا منبع خوبی از پروتئین‌های غنی از اسید آمینه لیزین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و بسیاری از ترکیبات فعال زیستی، به‌ویژه لوودوپا (L-dopa) (پیش‌ساز دوپامین)، است. باقلا از لحاظ میزان تثبیت زیستی نیتروژن نسبت به سایر حبوبات برتری داشته و ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، باعث صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. در شرایط تداوم کشت غلات که باعث افزایش جمعیت نامتدهای خاک می‌شود، قرار دادن باقلا در تناوب، باعث کاهش جمعیت نامتدها خواهد شد (Bangar and Kajla, 2022; Xiao et al., 2021). باقلا در ۶۶ کشور جهان کشت می‌شود و به دلیل سازگاری، تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی مقبولیت جهانی دارد. باقلا منبع تامین غذا و پروتئین برای جمعیت انسانی ساکن در آسیا و آفریقا و خوراک دام، طیور، کود سبز در اروپا محسوب می‌شود. سطح زیر کشت جهانی باقلا دو میلیون و ۴۶۴ هزار هکتار و تولید آن ۴/۸ میلیون تن است. میانگین عملکرد دانه باقلا از یک تن در هکتار در سال ۲۰۰۳ به ۱/۹ تن در هکتار در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است (Bangar and Kajla, 2022). افزایش عملکرد به دلیل اصلاح ارقام متحمل به تنش‌های غیرزیستی و زیستی بوده است (Minguez and Rubiales, 2021). سطح زیر کشت باقلا در ایران حدود ۳۵ هزار هکتار است و با معرفی رقم اصلاح شده جدید فیض و ارقام دو منظوره و قابل برداشت ماشینی مهتا و شادان، سطح زیر کشت آن رو به افزایش است. استان‌های لرستان، گلستان، خوزستان،

سیستان و بلوچستان، مازندران، زنجان و اصفهان به ترتیب با ۵۰۰۰، ۳۰۰۰، ۲۹۰۰، ۲۵۰۰، ۲۲۰۰ و ۱۹۰۰ هکتار بیشترین سطح زیر کشت باقلا در کشور را دارند (Sheikh et al., 2022b).

عملکرد نهایی هر ژنوتیپ از طریق ظرفیت بالقوه (پتانسیل) آن، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط تعیین می‌شود (Yan and Kang, 2003)، بر همین اساس در تعیین پایداری عملکرد، برهمکنش ژنوتیپ و محیط باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به تغییرات خصوصیات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط باقلا جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار حائز اهمیت است (Temesgen et al., 2015; Tadele et al., 2020). روش‌های تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها به دو گروه عمده پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پارامتری شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره هستند، روش‌های چندمتغیره ماهیت متغیر و پیچیده برهمکنش را نشان می‌دهند و به همین دلیل از اعتبار بیشتری برخوردار هستند (Ehyaei et al., 2022). در بین روش‌های چندمتغیره، روش‌های AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE بای‌پلات اهمیت ویژه‌ای دارند (Yan and Kang, 2003; Sheikh et al., 2022a). مقایسه روش‌های GGE بای‌پلات و AMMI برای ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری نشان داده است که روش GGE بای‌پلات کارآمدتر بوده و اطلاعات بیشتری به محققان ارائه می‌کند (Singh et al., 2019; Arif et al., 2021; Enyew et al., 2021; Greveniotis et al., 2023). سهولت و دقت در تجزیه‌ها و سادگی در تفسیر خروجی‌ها مهم‌ترین مزایای روش GGE بای‌پلات است (Yan, 2016). این روش نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برای اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که نمودارهای گرافیکی ترسیمی، تصویری

از روابط بین ژنوتیپ، محیط و برهمکنش آنها را ارائه می‌کند. نمودار بای‌پلات به‌طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط را در اختیار قرار می‌دهد. نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چند متغیره معرفی و توسط به‌نژادگران گیاهی به‌منظور تجزیه گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ و محیط استفاده شده‌است (Yan et al., 2000). استفاده از روش GGE بای‌پلات برای گزینش ارقام برتر کنجد (Azon et al., 2023)، سورگوم (Enyew et al., 2021)، گندم نان (Singh et al., 2019; Ehyaei et al., 2022)، گندم دوروم (Mohammadi et al., 2023)، بادام زمینی (Khan et al., 2021)، عدس (Ghaffar et al., 2023)، لوبیا (Rezene, 2019)، نخود فرنگی (Tolessa et al., 2013) و باقلا (Sheikh et al., 2021a; Greveniotis et al., 2023) گزارش شده‌است. همچنین از این روش جهت شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول گندم در تاریخ کاشت‌های مختلف نیز استفاده شده‌است (Saeidnia et al., 2023).

با توجه به تنوع اقلیمی و تغییرات شرایط آب و هوایی، اجرای پژوهش‌های به‌نژادی، معرفی و توسعه ژنوتیپ‌های پایدار و متحمل نسبت به تنش‌های زیستی برای مناطق مختلف کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این تحقیق شناسایی محیط هدف برای یک ژنوتیپ مشخص، ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا بر اساس میانگین عملکرد و پایداری به‌منظور معرفی رقم مناسب و یا والد مناسب جهت برنامه‌های به‌نژادی با استفاده از روش GGE بای‌پلات بوده است.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه، ۱۱ لاین امید بخش باقلا همراه با چهار رقم فیض، شادان، مهتا و برکت (شاهد) (جدول ۲) در ایستگاه‌های

تحقیقات کشاورزی گرگان (گرم و مرطوب)، دزفول (گرم و خشک)، بروجرد (سرد و خشک) و ایرانشهر (گرم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹-۱۳۹۸ کاشته شدند. ایستگاه‌های انتخابی نماینده شرایط محیطی مختلف کشت باقلا در کشور هستند (جدول ۱). ژنوتیپ‌های G5، G7، G8، G9، G10 و G15 از مواد ژنتیکی دریافتی از مرکز ایکاردا و سایر ژنوتیپ‌ها (G1، G2، G3، G4 و G6) از برنامه‌های ملی به‌نژادی باقلا کشور به‌دست آمده‌اند. تلاقی‌ها در سال ۱۳۸۶ انجام شده و دورگ‌های حاصل با هدف افزایش عملکرد و تحمل تنش‌های زیستی و غیر زیستی طی نسل‌های F<sub>2</sub> تا F<sub>8</sub> به خلوص رسیده و بعد از ارزیابی مشاهده‌ای و مقدماتی مقاومت به بیماری و عملکرد، برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه کشت و ارزیابی شدند (Sheikh et al., 2022b). هر کرت شامل شش ردیف کاشت چهار متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۳ سانتی‌متر بود. کاشت بذر ژنوتیپ‌های باقلا در ایستگاه ایرانشهر در نیمه اول مهر، در ایستگاه دزفول در نیمه دوم مهر و در ایستگاه‌های گرگان و بروجرد در نیمه دوم آبان انجام شد. وجین علف‌های هرز بر اساس سه تا چهار بار به‌صورت دستی انجام شد. در ایستگاه‌های ایرانشهر و دزفول بر حسب نیاز ۵ تا ۷ نوبت و در ایستگاه بروجرد یک نوبت در زمان پر شدن غلاف‌ها آبیاری انجام شد. در ایستگاه گرگان کشت به‌صورت دیم انجام شد. در طول دوره رشد در موارد شیوع آفت شته سیاه باقلا، از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار استفاده شد. در طول فصل صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ثبت شدند. برداشت محصول دانه در ایرانشهر در دهه آخر اسفند، در دزفول در اواسط فروردین، در گرگان در اواخر اردیبهشت و در بروجرد در اواخر خرداد انجام شد. برای محاسبه عملکرد دانه،

تعیین ژنوتیپ‌های پرمحصول پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، با استفاده از نرم افزار GGE بای پلات انجام شد. برای تجزیه پایداری به روش GGE بای پلات از مدل آماری زیر استفاده شد (Yan and Kang, 2003):

(رابطه ۱)

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

$Y_{ij}$ : میانگین لامین ژنوتیپ در زامین محیط،  $\mu$ : میانگین کل،  $\beta_j$ : میانگین اثر محیط زام،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ : مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$ : بردارهای ویژه ژنوتیپی،  $\eta_{j1}$  و  $\eta_{j2}$ : بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و  $\varepsilon_{ij}$ : مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ lam در محیط زام هستند.

برداشت از چهار ردیف میانی و با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف انجام شده و عملکرد دانه و وزن صد دانه توزین و ثبت شدند.

جهت تجزیه داده‌ها ابتدا آزمون نرمال بودن باقی مانده با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام شد. برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی بودن اثر محیط بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و نرم‌افزار SAS انجام شد.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش

Table 1. Geographical coordinates and climatic information of the experiment sites

| Location  | مکان     | ارتفاع<br>Altitude<br>(m) | عرض<br>جغرافیایی<br>Latitude | طول<br>جغرافیایی<br>longitude | بارندگی<br>۱۳۹۵-۱۳۹۶       | بارندگی<br>۱۳۹۶-۱۳۹۷       | میانگین دمای سالانه                |
|-----------|----------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
|           |          |                           |                              |                               | rainfall<br>2016-2017 (mm) | rainfall<br>2017-2018 (mm) | Average annual<br>temperature (°C) |
| Gorgan    | گرگان    | 5                         | 36°54'N                      | 54°25'E                       | 420                        | 480                        | 18.6                               |
| Dezful    | دزفول    | 83                        | 32°20'N                      | 48°30'E                       | 275                        | 310                        | 23.1                               |
| Broujerd  | بروجرد   | 1520                      | 33°89'N                      | 48°76'E                       | 340                        | 390                        | 14.6                               |
| Iranshahr | ایرانشهر | 591                       | 27°15'N                      | 60°40'E                       | 104                        | 121                        | 26.5                               |

جدول ۲- نام، کد، منشاء و شجره ژنوتیپ‌های باقلای مورد ارزیابی

Table 2. Name, code, origin and pedigree of faba bean genotypes used in the experiment

| ژنوتیپ‌های باقلا<br>Faba bean genotypes | نام<br>Entry name | منشاء<br>Origin | شجره<br>Pedigree        |
|-----------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|
| G1                                      | G-Faba-515        | Gorgan          | Barkat×ILB 1814         |
| G2                                      | G-Faba-522        | Gorgan          | Barkat×ILB 5284         |
| G3                                      | G-Faba-523        | Gorgan          | Barkat×ILB 4720         |
| G4                                      | G-Faba-521        | Gorgan          | Barkat×Giza Blanka      |
| G5                                      | Giza 717          | ICARDA          | 503/453/83×ILB938       |
| G6                                      | 3111N             | Gorgan          | Barkat×New mammoth      |
| G7                                      | Flip11-090-FB     | ICARDA          | F8/7119/06/HBP/DSO/2000 |
| G8                                      | Flip12-027        | ICARDA          | Fam.54-A                |
| G9                                      | Aquadolce         | ICARDA          | ILB1266                 |
| G10                                     | line 1/46         | ICARDA          | HBP/SOE/99              |
| G11 (check)                             | Barekat           | Gorgan          | ILB1269                 |
| G12 (check)                             | Feyz              | Gorgan          | ILB3621                 |
| G13 (check)                             | Shadan            | Gorgan          | Latt338/08              |
| G14 (check)                             | Mahta             | Gorgan          | WRB2-5                  |
| G15                                     | ILB365            | ICARDA          | Rebaya 40               |

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج محاسبه واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مختلف که به منظور تایید یکنواختی انجام شد و با توجه به آماره کای دو ( $X^2_{df=7}=10.51^{ns}$ )، فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی تایید شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب بر اساس داده‌های هشت محیط برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این نتایج نشان‌دهنده تنوع بین ژنوتیپ‌های باقلا بود. معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز نشان‌دهنده تظاهر متفاوت ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف است.

برهمکنش ژنوتیپ و محیط نشان داد که محیط بخش عمده تغییرات عملکرد را توجیه می‌کند. در پژوهش حاضر واریانس محیط ۶۰/۰۷ درصد، واریانس بین ژنوتیپ‌ها ۱۹/۸ درصد و برهمکنش ژنوتیپ و محیط ۲۰/۰۷ درصد از تغییرات کل واریانس داده‌ها برای صفت عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج سایر تحقیقات روی باقلا نیز نشان داد که تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را تشکیل می‌دهد (Tolessa et al., 2019; Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021b). به‌طور کلی در کلیه آزمایش‌های منطقه‌ای محیط پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نسبتاً کوچک هستند (Yan and Kang, 2003). بزرگی اثر محیط نشان‌دهنده تنوع محیط‌ها است و این موضوع به علت تفاوت اقلیم، حداقل و حداکثر دمای هوا و خاک، تفاوت دمایی شب و روز، میزان بارندگی و پراکنش آن، اسیدیته خاک، خصوصیات خاک، طول و عرض جغرافیای و ارتفاع از سطح دریا در محیط‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۱). در آزمایش حاضر برهمکنش ژنوتیپ و محیط و تفاوت بین

عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا از محیطی به محیط دیگر معنی‌دار بود. دامنه تغییرات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا از ۱۱۰۸ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G15 (Rebaya40) در ایرانشهر تا ۴۴۶۲ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G3 (Barkat × ILB 4720) در گرگان متغیر بود (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط برش‌دهی انجام شد تا در هر محیط بهترین ژنوتیپ شناسایی شود (جدول ۳). کمترین و بیشترین عملکرد دانه بر اساس میانگین دو ساله در چهار ایستگاه مربوط به ژنوتیپ‌های G15 (Rebaya40) و G6 (Barkat × New mammoth) (به ترتیب ۱۳۶۷/۵ و ۲۹۰۵/۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). براساس میانگین عملکرد دانه، کلیه ژنوتیپ‌های باقلا به جز ژنوتیپ‌های G15 و G5 نسبت به ارقام شاهد برتری داشتند. در ایستگاه‌های دزفول و ایرانشهر عملکرد دانه کمتر از میانگین بود. طول فصل رشد کوتاه، میانگین دمای بالا و تنش گرما در مرحله تشکیل دانه‌ها، دلایل احتمالی کاهش عملکرد دانه در این دو ایستگاه هستند (جدول ۱).

تفاوت بین ژنوتیپ‌های باقلا از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). در نتایج سایر تحقیقات نیز تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های باقلا گزارش شده است (Sheikh et al., 2022b). صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه معیارهایی مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه در برنامه اصلاحی باقلا هستند و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس این صفات باعث افزایش عملکرد خواهد شد (Sheikh et al., 2022b). ارتباط مثبت بین صفات تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و ارتفاع بوته با عملکرد دانه وجود دارد (Singh et al., 2019; Sheikh et al., 2022b). متفاوت بودن عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف و وجود برهمکنش ژنوتیپ در

محیط نشان می‌دهد که پایداری عملکرد، سهم زیادی  
در عملکرد دانه داشته و باعث جابجا شدن ترتیب

"ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه...، شیخ و همکاران، ۱۴۰۳، ۷۰-۵۵"

جدول ۳- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

Table 3. Analysis of variance and mean comparison of seed yield (kg.ha<sup>-1</sup>) of faba bean genotypes at eight environments

| منابع تغییر<br>SOV  | محیط اول<br>E1   | محیط دوم<br>E2 | محیط سوم<br>E3 | محیط چهارم<br>E4 | محیط پنجم<br>E5 | محیط ششم<br>E6 | محیط هفتم<br>E7 | محیط هشتم<br>E8 |
|---------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| MSG                 | 1019451.2**      | 199343.6**     | 817827.6**     | 1342919.7**      | 1197845.9**     | 180227.8**     | 952941.0**      | 1567388.2**     |
| MSE                 | 32823            | 11111          | 16827          | 20365            | 17714           | 12527          | 19001           | 15284           |
| CV (%)              | 5.7              | 7.09           | 6.09           | 6.72             | 3.83            | 7.55           | 5.67            | 6.09            |
| Faba bean genotypes | ژنوتیپ‌های باقلا |                |                |                  |                 |                |                 |                 |
| G1                  | 2853             | 1693           | 2240           | 2064             | 3747            | 1593           | 2769            | 2270            |
| G2                  | 3296             | 1544           | 2425           | 2222             | 3686            | 1920           | 2578            | 2193            |
| G3                  | 3107             | 1483           | 2113           | 2204             | 4462            | 1702           | 2317            | 1885            |
| G4                  | 3037             | 1888           | 2098           | 2253             | 3985            | 1648           | 2605            | 2442            |
| G5                  | 2720             | 1747           | 1872           | 1914             | 2618            | 1744           | 2001            | 1956            |
| G6                  | 3363             | 1357           | 3124           | 3247             | 3905            | 1673           | 3323            | 3250            |
| G7                  | 3097             | 1669           | 2509           | 3083             | 2701            | 1865           | 2938            | 2992            |
| G8                  | 2835             | 1394           | 2007           | 3073             | 3041            | 1590           | 2441            | 2798            |
| G9                  | 3294             | 1606           | 3038           | 2250             | 3284            | 1578           | 3136            | 2229            |
| G10                 | 4153             | 1418           | 2221           | 2397             | 4235            | 1585           | 2832            | 2878            |
| G11                 | 3122             | 1265           | 1712           | 1134             | 3297            | 1231           | 1571            | 1210            |
| G12                 | 4209             | 1843           | 1611           | 2025             | 4030            | 1343           | 1991            | 1919            |
| G13                 | 3695             | 1203           | 1549           | 1274             | 3662            | 1307           | 2081            | 1253            |
| G14                 | 3085             | 1171           | 2218           | 1587             | 3146            | 1212           | 2542            | 1497            |
| G15                 | 1786             | 1016           | 1192           | 1108             | 2277            | 1105           | 1288            | 1367            |
| Mean                | 3177             | 1487           | 2129           | 2123             | 3472            | 1540           | 2428            | 2127            |
| LSD <sub>0.05</sub> | 303.1            | 176.3          | 216.9          | 238.6            | 222.6           | 194.5          | 230.5           | 216.9           |

E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: اراک ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۹-۹۸، E6: دزفول ۹۹-۹۸، E7: بروجرد ۹۹-۹۸، E8: اراک ۹۹-۹۸

E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021



جدول ۴- مقایسه میانگین صفات زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

Table 4. Mean comparison of agronomic traits of faba bean genotypes at eight environments

| ژنوتیپ‌های باقلا<br>Faba bean genotypes | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) | تعداد شاخه در بوته<br>No. Branches | تعداد غلاف در بوته<br>No. pod.plant <sup>-1</sup> | تعداد دانه در غلاف<br>No. seed.pod <sup>-1</sup> | وزن صد دانه<br>100 seed weight<br>(g) | عملکرد دانه<br>Seed yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| G1                                      | 108                                 | 5                                  | 13                                                | 4                                                | 122                                   | 2404                                                |
| G2                                      | 110                                 | 5                                  | 13                                                | 4                                                | 122                                   | 2483                                                |
| G3                                      | 110                                 | 5                                  | 15                                                | 3                                                | 114                                   | 2409                                                |
| G4                                      | 107                                 | 5                                  | 15                                                | 3                                                | 116                                   | 2494                                                |
| G5                                      | 104                                 | 5                                  | 15                                                | 3                                                | 105                                   | 2072                                                |
| G6                                      | 117                                 | 6                                  | 14                                                | 4                                                | 126                                   | 2905                                                |
| G7                                      | 112                                 | 6                                  | 17                                                | 4                                                | 105                                   | 2607                                                |
| G8                                      | 115                                 | 6                                  | 15                                                | 4                                                | 103                                   | 2397                                                |
| G9                                      | 109                                 | 6                                  | 16                                                | 4                                                | 105                                   | 2552                                                |
| G10                                     | 110                                 | 6                                  | 18                                                | 4                                                | 106                                   | 2715                                                |
| G11                                     | 113                                 | 5                                  | 11                                                | 4                                                | 123                                   | 1815                                                |
| G12                                     | 104                                 | 5                                  | 8                                                 | 5                                                | 124                                   | 2372                                                |
| G13                                     | 115                                 | 5                                  | 16                                                | 3                                                | 113                                   | 2003                                                |
| G14                                     | 110                                 | 6                                  | 16                                                | 3                                                | 102                                   | 2057                                                |
| G15                                     | 109                                 | 6                                  | 14                                                | 3                                                | 79                                    | 1254                                                |
| LSD <sub>0.05</sub>                     | 4.39                                | 0.5                                | 0.58                                              | 0.10                                             | 3.1                                   | 76.9                                                |

مبدأ بای پلات ایجاد می‌شود و برخی اط ژنوتیپ‌ها در رأس و برخی دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند (Yan and Kang, 2003). چندضلعی با خطوطی عمود بر ضلع‌ها به بخش‌هایی تقسیم می‌شود. دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای پلات، بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ در برخی یا تمام محیط‌ها هستند، به‌طوری‌که در هر بخش بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپ قرار گرفته در رأس آن بخش برای محیط‌های واقع در آن است (Yan et al., 2000). ژنوتیپ‌های G10، G6، G7، G15 و G12 که در رأس چند ضلعی قرار دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. به‌علاوه سه محیط کلان نیز شناسایی شدند. محیط کلان اول شامل دو محیط E1 (گرگان ۹۸-۹۷) و E2 (گرگان ۹۹-۹۸) بود که ژنوتیپ G10 (line 1/46) و ارقام شاهد فیض (G12) و شادان (G13) ژنوتیپ‌های برتر و ژنوتیپ G3 (Barkat×ILB 472)، با این محیط سازگار بودند (شکل ۱). محیط کلان دوم شامل محیط‌های E3، E4، E6، E7 و E8 (دزفول ۹۸-۹۷؛ بروجرد ۹۸-۹۷؛ ایرانشهر ۹۸-۹۷؛ دزفول ۹۹-۹۸؛ بروجرد ۹۹-۹۸؛ ایرانشهر ۹۹-۹۸) بودند و ژنوتیپ G6

جایگاه ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف می‌شود، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌ها بر پایه عملکرد آن‌ها در یک مکان نمی‌تواند دقیق باشد و برای توصیه یک ژنوتیپ مناسب باید ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چندین سال و مکان انجام شود و ژنوتیپ‌های برتر براساس پایداری عملکرد شناسایی شوند (Tolessa et al., 2019; Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2022a). عدم توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط باعث کاهش کارایی گزینش ژنتیکی و بهره‌مندی به‌نژادی می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهشگران از روش GGE بای پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کرده‌اند (Temesgen et al., 2015; Tolessa et al., 2019; Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021a; Sheikh et al., 2022a).

براساس مدل GEI، ۵۸/۷ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی اول و ۱۷/۸ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی دوم بود که در مجموع ۷۶/۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند (شکل ۱). نمودار چندضلعی از بهم پیوستن دورترین ژنوتیپ‌ها از

گیاه باقلا استفاده کرد. ژنوتیپ‌های G7، G8 و G12 در رتبه سوم و ژنوتیپ‌های G5، G11، G13، G14 و G15 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. فایرو و همکاران (Firew *et al.*, 2019) از روش GGE بای‌پلات برای مقایسه ارقام لوبیا سفید با رقم مطلوب استفاده کردند. غفار و همکاران (Ghaffar *et al.*, 2023) نیز با استفاده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات از بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه در هفت محیط، ژنوتیپ G6 را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب با عملکرد پایدار و چهار ژنوتیپ G2، G4، G5 و G7 را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب معرفی کردند. ارزیابی پایداری عملکرد در شرایط شیوع بیماری برق‌زدگی (Erdemci *et al.*, 2023) و لکه‌شکلانی (Tekalign *et al.*, 2017)، به‌ترتیب در نخود و باقلا، با استفاده از روش GGE بای‌پلات مورد ارزیابی قرار دادند. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط شیوع بیماری مطلوب شناخته شوند، ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش محسوب می‌شوند.

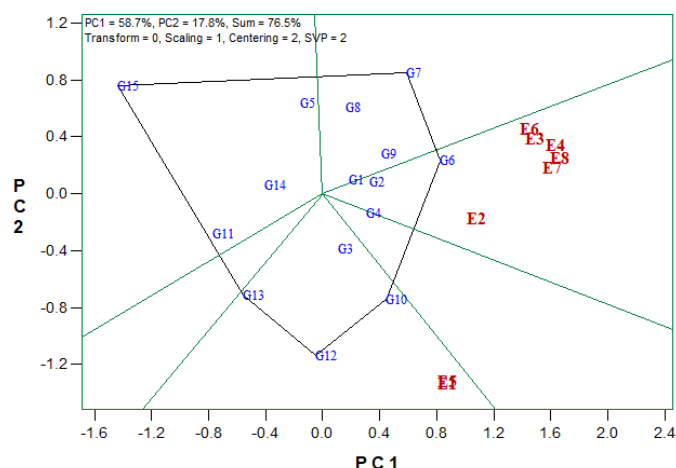
برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های آزمایشی از نمودار بای‌پلات که در آن محیط‌ها توسط بردارهایی به مبدأ وصل می‌شوند، استفاده شد (شکل ۳). کوسینوس زاویه بین دو بردار محیطی به‌عنوان ضریب همبستگی بین محیط‌ها شناخته می‌شود (Yan and Kang, 2003). ارتباط مثبت نزدیک بین محیط‌های آزمایش نشان می‌دهد که اطلاعات مشابه در مورد ژنوتیپ‌ها می‌تواند از محیط‌های آزمایشی کمتری به‌دست آید، بنابراین می‌توان آزمایشات را در یکی از آن محیط‌ها انجام داد تا هزینه ارزیابی ژرم‌پلاسم کاهش و کارایی اصلاح افزایش یابد (Azon *et al.*, 2023). طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد که این انحراف، توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Yan and Kang, 2003). بررسی بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان دهنده قدرت تمایز بالای محیط گرگان در دو سال آزمایش (E1 و E5) و زاویه حاده بین دو محیط نشان‌دهنده همبستگی بالا بود. این دو محیط بیشترین

(Barkat×New mammoth)، به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط‌ها شناسایی شد. ژنوتیپ‌های G1، G2 و G4 ژنوتیپ‌های سازگار با این محیط بودند. در چندضلعی بای‌پلات بر پایه نزدیکی ژنوتیپ‌های G1، G3، G4 و G14 به مبدأ بای‌پلات، آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی شناسایی شد. ژنوتیپ‌های G15 و G7 در هیچ‌یک از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عدم سازگاری آن‌ها در کلیه محیط‌های آزمایشی است.

براساس مدل GGE (G + GEI) در تجزیه بای‌پلات نیز ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا شناسایی شدند (شکل ۲). ژنوتیپ‌هایی که در مرکز دوائر متحدالمرکز قرار دارند، در کلیه محیط‌ها بالاترین عملکرد را داشته و مطلقاً پایدار بوده و ژنوتیپ مطلوب محسوب می‌شوند. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری است (Yan *et al.*, 2000). ژنوتیپ‌هایی که فاصله کمتری از ژنوتیپ مطلوب دارند، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار هستند. ژنوتیپ G6 و G10 در مرکز دوائر متحدالمرکز قرار داشته و پایدار محسوب می‌شوند (شکل ۲). پس از آن ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G4 و G9 که به ژنوتیپ مطلوب نزدیک‌تر بودند قرار داشتند. برای تعیین ژنوتیپ مطلوب دو معیار پایداری و عملکرد بالا مورد نظر هستند، بنابراین ژنوتیپی مطلوب است که ه دارای حداکثر عملکرد و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیکترین فاصله را با ژنوتیپ مطلوب داشته باشد در رتبه‌های بعدی مطلوبیت قرار دارد (Yan and Kang, 2003). در پژوهش حاضر با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های G6، G10، G1، G2، G3، G4 و G9 دارای عملکرد بالا و پایداری متوسط به بالا هستند، در درجه اول قابل توصیه برای کشت در طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی هستند و در درجه دوم می‌توان از آن‌ها به‌عنوان والد دهنده در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در

برتر باقلا شناخته شد. محیط E2 (دزفول سال ۹۸-۱۳۹۷) کمترین طول بردار را داشت. براین اساس این محیط قدرت تمایز بالایی برای ژنوتیپ‌های باقلا نداشته و اجرای آزمایش در این محیط توصیه نمی‌شود.

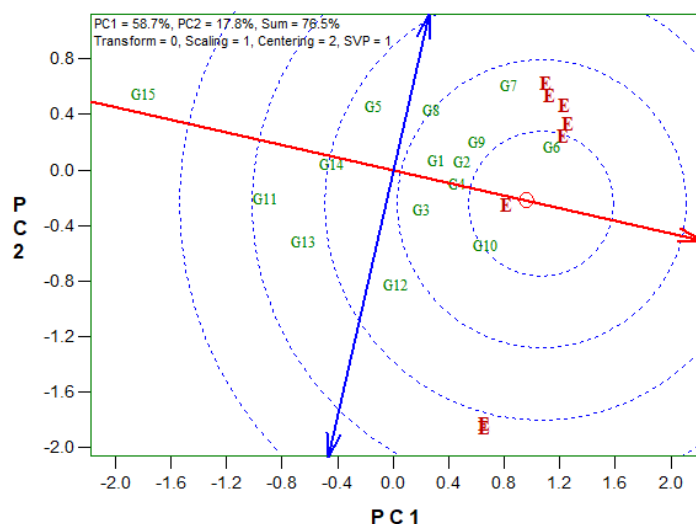
طول بردار و بیشترین قدرت تمایز را داشتند و بعد از آن محیط‌های E3، E4، E6، E7 و E8 قرار داشتند. از بین محیط‌های آزمایش، محیط گرگان توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته و مکان مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های



شکل ۱- چندضلعی GGE بای پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

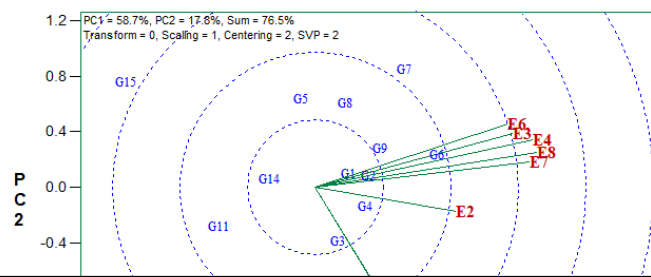
Fig. 1. Polygon view of the GGE-Biplot based on seed yield data of faba bean genotypes across eight environments

E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: ایرانشهر ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۸-۹۷، E6: دزفول ۹۸-۹۷، E7: بروجرد ۹۸-۹۷، E8: ایرانشهر ۹۸-۹۷؛ E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021



شکل ۲- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب

Fig. 2. Biplot view to compare faba bean genotypes with the ideal genotype



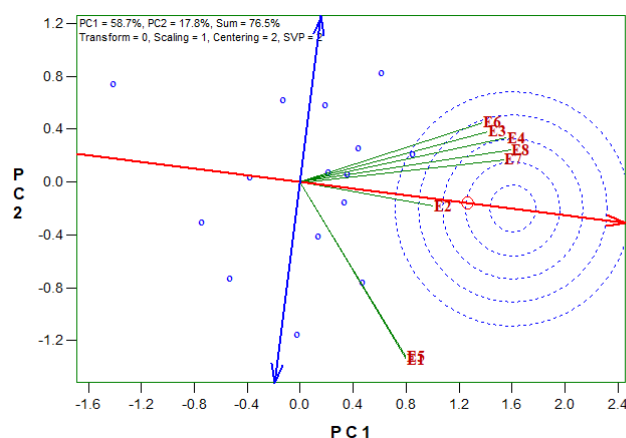
### شکل ۳- بای پلات بررسی روابط بین محیط‌های آزمایشی

Fig. 3. Biplot view for the relationships among the experiment environments

E1: گرگان ۹۷-۹۸، E2: دزفول ۹۷-۹۸، E3: بروجرد ۹۷-۹۸، E4: اراک ۹۷-۹۸، E5: گرگان ۹۸-۹۹، E6: دزفول ۹۸-۹۹، E7: بروجرد ۹۸-۹۹، E8: اراک ۹۸-۹۹  
E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Arak-2019-2020; E5: Gorgan-2020-2021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Arak-2020-2021

بیشتری دارند. براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۴، محیط E2 کمترین فاصله را با محیط مطلوب دارد. محیط‌های E1 و E5 با داشتن طول بردار بلندتر از قدرت تمایز بالاتری نسبت به سایر محیط‌ها برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها برای تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های پایدار از ژنوتیپ‌های ناپایدار استفاده کرد.

بای پلات GGE محیط‌ها را از طریق بردارهایی به مبدا بای پلات وصل می‌کند. هر محیطی که کمترین زاویه را با بردار افقی داشته باشد، به محیط مطلوب نزدیک‌تر و به عنوان محیط نماینده محسوب خواهد شد. بنابراین محیط‌های نزدیک به محیط مطلوب و دارای طول بردار بلندتر، توانایی تمایز و قدرت نمایندگی



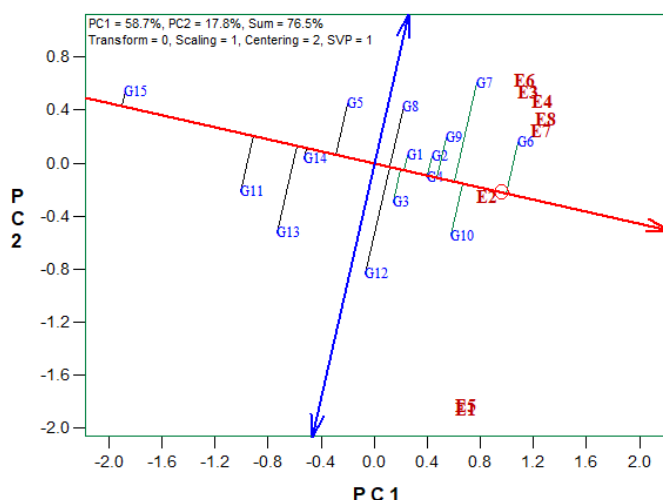
### شکل ۴- تعیین محیط مطلوب با استفاده از روش گرافیکی GGE بای پلات

Fig. 4. Determining the ideal environment using the GGE-biplot graphic method

از نمودار AEC (Average Environment Coordinate) جهت بررسی همزمان پایداری و عملکرد

G7 و G10 بیشترین عملکرد و ژنوتیپ G15 کمترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G4 و G9 به دلیل اینکه کمترین فاصله را با محور افقی داشتند، دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی بوده و دارای بیشترین پایداری محسوب می‌شوند.

استفاده می‌شود. در این نمودار محور افقی نشان‌دهنده عملکرد ژنوتیپ‌ها و محور عمودی برآوردی از برهمکنش ژنوتیپ و محیط است. فاصله کمتر از محور افقی نشانگر پایداری ژنوتیپ است (Rezene, 2019). براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۵ ژنوتیپ‌های G6،



شکل ۵- مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

Fig. 5. Comparison of promising genotypes of faba bean with ideal genotype based on seed yield and stability

E1: گرگان ۹۸-۹۹، E2: دزفول ۹۸-۹۹، E3: بروجرد ۹۸-۹۹، E4: ابرانشهر ۹۸-۹۹، E5: گرگان ۹۸-۹۹، E6: دزفول ۹۸-۹۹، E7: بروجرد ۹۸-۹۹، E8: ابرانشهر ۹۸-۹۹؛ E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021

پایدار و پرمحصول، به حداکثر تولید محصول دست یافت. در این تحقیق ژنوتیپ‌های G2، G9، G10، G6 و G4 در نمودارهای مختلف بای پلات، علاوه بر پایداری، از عملکرد دانه بیشتری نیز برخوردار بودند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در باقلا استفاده کرد. وجود ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالاتر از ارقام شاهد، نشان‌دهنده بهبود ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی باقلا کشور است. در آزمایش حاضر، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشت و به‌عنوان مکان آزمایش مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد. براساس نتایج مقایسه عملکرد دانه و ارزیابی

## نتیجه‌گیری

در آزمایش حاضر براساس نتایج تجزیه واریانس، محیط ۶۰/۰۷ درصد از مجموع مربعات تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده حساسیت بالای عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا به تغییرات محیط است. ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب ۱۹/۸ و ۲۰/۰۷ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. واکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا به محیط‌های مختلف متفاوت بود. در صورتی که عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی باعث ایجاد برهمکنش ژنوتیپ و محیط شوند، الگوهای پیش‌بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال‌ها تکرار پذیر نخواهد بود، بنابراین باید با انتخاب ژنوتیپ

تجاری Aquadolce در فرانسه و اسپانیا عرضه شده است. ژنوتیپ‌های یاد شده را می‌توان پس از ارزیابی در قالب پروژه تحقیقی ترویجی به‌عنوان رقم تجاری برای مناطق فوق و یا اقلیم‌های مشابه توصیه نمود. این ژنوتیپ‌ها قابلیت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود همزمان سازگاری و عملکرد باقلا را دارند.

### سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۷۱۲۵۱-۲۸۱-۰۳-۵۷-۰، سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از همکاران مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه که در اجرای این پژوهش با مجریان همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

سازگاری، ژنوتیپ‌های باقلا به تفکیک انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های G3 (Barkat×ILB4720) و G10 (HBP/SOE/99) برای گرگان و مناطق دارای اقلیم مشابه مناسب شناخته شدند. ژنوتیپ‌های G2 (Barkat×ILB5284) و G7 (Flip11-090FB) برای دزفول مناسب شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها از سازگاری خصوصی بالایی برخوردار بودند. در استان‌های جنوبی علیرغم عملکرد کمتر، به علت عرضه خارج از فصل و ارزش اقتصادی بالاتر، زراعت باقلا با استقبال خوبی از سوی کشاورزان مواجه می‌شود. شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی برای این شرایط با قابلیت تولید بالاتر از میانگین ارقام شاهد، کمک زیادی به افزایش درآمد کشاورزان خواهد کرد. ژنوتیپ‌های G6 (Barkat×New mammoth) و G9 (ILB1266) برای کاشت در بروجرد و ایرانشهر مناسب شناخته شدند. ژنوتیپ G9 با شجره ILB1266 در سال ۲۰۱۶ با نام

### References

### منابع مورد استفاده

- Arif, A., Parveen, N., Waheed, M.Q., Atif, R.M., Waqar, I. and Shah, T.M. 2021. A comparative study for assessing the drought-tolerance of chickpea under varying natural growth environments. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp.22-28. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607869>
- Azon, C.F., Hotegni, V.N.F., Sogbohossou, D.E.O., Gnganglè, L.S., Bodjrenou, G., Adjé, C.O., Dossa, K.O., Agbangla, C., Florent J.B.Q. and Achigan-Dako., E.G. 2023. Genotype×environment interaction and stability analysis for seed yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.) in Benin Republic using AMMI, GGE biplot and MTSI, Heliyon, 9(11), pp.13-19. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21656>
- Bangar, S.P. and Kajla, P. 2022. Introduction: Global Status and Production of Faba Bean. In: Punia Bangar, S. and Bala Dhull, S. (Eds) Faba Bean: Chemistry, Properties and Functionality. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2_1)
- Ehyaei, M., Mostafavi, K., Bakhtiar, F. and Mohammadi, A. 2022. Yield stability of bread wheat genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. *CEREAL RESEARCH*, 12(2), pp.147-165. [In Persian]. <https://doi.org/10.22124/cr.2023.23333.1746>
- Enyew, M., Feyissa, T., Geleta, M., Tesfaye, K., Hammenhag, C. and Carlsson, A.S. 2021. Genotype by environment interaction, correlation, AMMI, GGE biplot and cluster analysis for grain yield and other

- agronomic traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plos One*, 16(10), e0258211. [https://doi: 10.1371/journal.pone.0258211](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258211)
- Erdemci, İ., Yaşar, M. and Koc, M. 2023.** Assignment of resistance stability of chickpea genotypes tested in multi-environments against ascochyta blight using GGE biplot analysis. *European Journal of Plant Pathology*, 167, pp.123–132. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02688-x>
- FAO. 2017.** FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: [www.fao.org/faostat/](http://www.fao.org/faostat/) [accessed June 11, 2017].
- Firew, A.M., Amsalu, B. and Tsegaye, D. 2019.** Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of large white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes across environments in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35), pp.2135–2145. [https://doi: 10.5897/Ajar2019.14180](https://doi.org/10.5897/Ajar2019.14180)
- Ghaffar, M., Asghar, M.J. and Shahid, M. 2023.** Estimation of  $G \times E$  interaction of lentil genotypes for yield using AMMI and GGE biplot in Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, pp.2316–2330. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01182-x>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Kantas, D. and Ipsilandis, C.G. 2023.** Genotype-by-environment interaction analysis for quantity and quality traits in faba beans using AMMI, GGE models, and stability indices. *Plants*, 12, 3769. <https://doi.org/10.3390/plants12213769>
- Khan, M.M.H., Rafii, M.Y., Ramlee, S.I., Jusoh, M. and Mamun, A.M. 2021.** AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). *Scientific Reports*, 11, 22791. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01411-2>
- Minguez, M.I. and Rubiales D. 2021.** Faba bean. In: Sadras V.O. *et al.* (Eds.) Crop Physiology Case Histories for Major Crops. Academic Press, Amsterdam. The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00015-3>
- Mohammadi, R., Jafarzadeh, J., Poursiahbidi, M.M. and Hatamzadeh, H. 2023.** Genotype-by-environment interaction and stability analysis for grain yield in durum wheat using GGE biplot and genotypic and environmental covariates. *Agricultural Research*, 12, pp.364–374. <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00661-y>
- Rezene, Y. 2019.** GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern Ethiopia. *Journal of Plant Studies*, 8, 35. <https://doi.org/10.5539/jps.v8n1p35>
- Saeidnia, F., Taherian, M. and Nazeri, S.M. 2023.** Graphical analysis of multi-environmental trials for wheat grain yield based on GGE-biplot analysis under diverse sowing dates. *BMC Plant Biology*, 23, pp.198–213. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04197-9>
- Sheikh, F., Nazari, H., and Fanaei, H. 2022a.** Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean

- genotypes using the biplot method. *Journal of Crop Production*, 15(2), pp.117-135. [In Persian]. [https://doi: 10.22069/ejcp.2022.19563.2457](https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19563.2457)
- Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A., and Aghajani, M.A. 2021a.** Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), pp.85-99. [In Persian]. [https://doi:10.47176/jcpp.11.3.36412](https://doi.org/10.47176/jcpp.11.3.36412)
- Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R. 2021b.** Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), pp.125-144. [In Persian]. [https://doi:10.22069/EJCP.2022.18908.2411](https://doi.org/10.22069/EJCP.2022.18908.2411)
- Sheikh, F., Sekhavat, R. and Aghajani, M. 2022b.** Evaluation of resistance to leaf spot diseases and yield characteristics in faba bean genotypes through cluster analysis and Genotype by Trait Biplot. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.131-147. [In Persian]. [https://doi:10.52547/jcb.14.44.131](https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.131)
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B.S. Singh, G., Chatrath, R. and Singh, G.P. 2019.** Genotype×environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19, pp.309-318. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43>
- Tadele, M., Mohammed, W. and Jarso, M. 2020.** Yield stability and genotype × environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 7(2), pp.833-846. <https://doi.org/10.1002/agj2.21268>
- Tekalign, A., Sibiya, J., Derera, J. and Fikre, A. 2017.** Analysis of genotype × environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). *Australian Journal of Crop Science*, 11(10), pp.1228-1235. [https://doi.10.21475/ajcs.17.11.10.pne413](https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne413)
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. and Jarso, M. 2015.** Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), pp.258-268. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.004>
- Tolessa, T.T., Keneni, G., Mohammed, H. and Ahmed, S.K. 2019.** Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced G × E interaction and increased inter-temporal performance stability. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22, pp.265–274. [https://doi. 10.1007/s12892-019-0071-0](https://doi.org/10.1007/s12892-019-0071-0)
- Tolessa, T., Gemechu, K., Tadesse, G., Jarso, M. and Bekele, Y. 2013.** Genotype × environment interaction and performance stability for grain yield in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *International Journal of Plant Breeding*, 7, pp.116-123. <https://doi.org/10.1002/agj2.21268>
- Xiao, J.X., Zhu, Y.A., Bai, W.L., Liu, Z.Y., Li, T.A.N. G. and Zheng, Y. 2021.** Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11), pp.3012–3025. [https://doi. 10.1016/S2095-3119\(20\)63489-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63489-X)



- Yan, W. 2016.** Analysis and handling of G×E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56, pp.2106-2118.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0336>
- Yan, W. and Kang, M.S. 2003.** GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists, CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, USA.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q. and Szlavniks, Z. 2000.** Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, pp.597-605.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>