

## ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE biplot

فاطمه شیخ<sup>۱\*</sup>، رضا سخاوت<sup>۲</sup>، حسین آسترکی<sup>۳</sup>، علیرضا پرکاسی<sup>۴</sup> و محمدعلی آقاجانی<sup>۵</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶)

### چکیده

به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) و پایداری عملکرد دانه لاین‌های باقلا، ۱۵ لاین امیدبخش باقلا، به همراه چهار رقم برکت، سرازیری، بلوچی و زرشکی (به عنوان شاهد)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر) به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد، اثر مکان، اثر سال، اثر متقابل مکان × سال، اثر ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ × سال، اثر متقابل ژنوتیپ × مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. پایداری عملکرد دانه ۱۹ ژنوتیپ، با استفاده از روش GGE-Biplot در هشت محیط بررسی شد. بر اساس مدل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI)، دو مؤلفه اول در مجموع ۹۱/۵ درصد از تغییرات اثر متقابل را توجیه کردند. بر اساس نمودار چندضلعی سه محیط کلان و ژنوتیپ‌های سازگار هر محیط شد: گرگان (شامل لاین G15، بروجرد- ایرانشهر (شامل لاین G3) و ایرانشهر (شامل لاین G19) شد. لاین‌های G15، G7 و G13 به ترتیب با عملکرد ۳۴۳۹، ۳۱۲۸ و ۳۰۹۴ کیلوگرم در هکتار بالاترین میانگین و پایداری عملکرد دانه را داشتند. بر اساس تجزیه و تحلیل GEI و GGE-Biplot، محیط‌های آزمایش گرگان و بروجرد از قدرت تفکیک خوبی برخوردار بودند. در نهایت لاین‌های G12، G14 و G15 با دارا بودن عملکرد و پایداری عملکرد وسیع پس از انجام بررسی‌های آنفارم می‌توانند به عنوان ارقام برتر باقلا معرفی شوند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ ایده‌ال، سازگاری عمومی، سازگاری خصوصی، محیط کلان

- ۱ و ۵. به ترتیب استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی و دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
۲. مربی پژوهشی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صافی‌آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
۳. 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.
۴. محقق 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.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sheikhfatemeh@yahoo.com

## مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) متعلق به تیره بقولات بوده که دارای ژنوم  $2n=2x=12$  است. انواع بذر ریز و متوسط باقلا را Field bean و انواع بذر درشت آن را Broad bean می‌نامند (۱۶). باقلا در حفظ پایداری سیستم‌های کشاورزی و توانمندی در تثبیت بیولوژیک نیتروژن حائز اهمیت است، باقلا با شکستن سیکل زندگی آفات و بیماری‌ها، منجر به کاهش بیماری‌ها و کاهش جمعیت آفات می‌شود (۱۳). در کشورهای در حال توسعه به‌عنوان یک منبع غنی از پروتئین در تغذیه انسان و در کشورهای صنعتی در تغذیه انسان و دام حائز اهمیت است (۱۵ و ۲۶). بر پایه گزارش فائو در سال ۲۰۱۸، سطح زیر کشت باقلا در جهان، ۲۴۶۳۹۶۶ هکتار برآورد شد که از این مقدار سطحی معادل ۲۱۸۰۳ هکتار مربوط به ایران بود. عملکرد باقلا در ایران، در همین سال حدود ۲/۲۱۷۶ کیلوگرم در هکتار ارزیابی شد، این در حالی بود که عملکرد جهانی این محصول، ۳/۱۹۶۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۷). این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی ایران است و بیشتر در استان‌های خوزستان، لرستان، اصفهان، کاشان، گلستان و مازندران کشت می‌شود (۲۴). در برنامه‌های معرفی ارقام اصلاح شده، استفاده از عملکرد ارقام به‌تنهایی معیاری مناسب برای انتخاب نیست بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند (۲۲). ارزیابی ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از مکان‌ها و سال به شناسایی ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های دارای بهترین عملکرد و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا کمک می‌کند (۱۳). روش‌های تعیین ژنوتیپ‌های پایدار، شامل روش‌های تک‌متغیره، چندمتغیره مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شامل AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE-Biplot و روش‌های ناپارامتری هستند (۲۳، ۲۵، ۳۱ و ۳۳). برتری‌ها و نقاط ضعف این روش‌ها با جزئیات توسط گائوچ (۱۲) و یان و همکاران (۳۴) تشریح شده است. استفاده از روش GGE-Biplot برای مطالعه پایداری در گندم نان (۱) و کلزا (۲۰)، ذرت (۴)، آفتابگردان (۱۹)، پنبه (۲)، بادام زمینی (۱۴)، برنج (۶)، لوبیا (۱۸) و جو (۱۷) گزارش شده است. با

توجه به تغییرات زیاد ویژگی‌های مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط باقلا حائز اهمیت است (۲۹ و ۳۰). تکالین و همکاران (۲۸) پس از بررسی ۲۱ ژنوتیپ باقلا در شش محیط از روش GGE-Biplot برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از لحاظ مقاومت به بیماری لکه شکلاتی و عملکرد استفاده کردند. هدف از این مطالعه بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط در ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از روش GGE Biplot و معرفی ارقام با عملکرد بالا و پایدار برای معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های معتدل سرد، معتدل و گرم کشور و شناسایی مناطق مطلوب بود.

## مواد و روش‌ها

برای مطالعه و بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های باقلا، ۱۵ لاین امیدبخش باقلا به‌همراه ارقام شاهد برکت، زرشکی، سرازیری و بلوچی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر (جدول‌های ۲ و ۳)، به‌مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) کشت و ارزیابی شدند. هر کرت شامل شش ردیف ۴ متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. آماده‌سازی زمین با استفاده از شخم عمیق و دو مرحله دیسک صورت گرفت. بر اساس آزمون خاک کوددهی انجام شد. وجین علف‌های هرز بسته به منطقه ۳-۴ بار به‌صورت دستی انجام شد. آبیاری در ایستگاه‌های جنوب کشور برحسب نیاز ۷-۵ بار انجام شد. در طول دوره رشد از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار برای کنترل شته سیاه باقلا استفاده شد. تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف در طول فصل زراعی و پس از برداشت ثبت شدند. در زمان رسیدگی کامل برای محاسبه عملکرد دانه، برداشت از چهار خط میانی و با حذف نیم متر ابتدا و انتهای کرت انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از

جدول ۱. شماره، منشأ، شجره و کد ژنوتیپ‌های باقلا

شماره ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	شجره	منشأ
G1	G-Faba-10	Giza Blanca	ایکارد
G2	G-Faba-12	ILB 3626	ایکارد
G3	G-Faba -57	FLIP03-61FB	ایکارد
G4	G-Faba -145	line F6 latt/440/08	ایکارد
G5	G-Faba -161	FLIP06-23FB	ایکارد
G6	G-Faba -180	F8/7093/06 - A	ایکارد
G7	G-Faba -517	Barkat × ILB 1270	گرگان
G8	G-Faba -519	Barkat × Giant	گرگان
G9	G-Faba -520	Barkat × New momomoth	گرگان
G10	G-Faba -524	Barkat × BPL 465	گرگان
G11	G-Faba -525	Barkat × 98 264-1	گرگان
G12	G-Faba -256	S 2008,033	ایکارد
G13	G-Faba -257	S 2008,034	ایکارد
G14	G-Faba -288	FLIP03-069FB	ایکارد
G15	G-Faba -332	ILB1266 × ILB1814	ایکارد
G16	G-Faba -20	برکت (شاهد)	ایکارد
G17	G-Faba -19	زرشکی (شاهد)	بروجرد
G18	G-Faba -5	سرازیری (شاهد)	دزفول
G19	G-Faba -334	بلوچی (شاهد)	بلوچستان

جدول ۲. برخی ویژگی‌های اقلیمی و اکولوژیکی مناطق اجرای آزمایش

مکان	کد محیط‌ها		میانگین دمای سالانه	میانگین بارندگی سالانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
	سال اول	سال دوم					
گرگان	GR16	GR17	۱۹	۳۸۰	۵۴° ۲۵' E	۳۶° ۵۴' N	۵
دزفول	DZ16	DZ17	۲۳/۱۷	۲۵۰	۴۸° ۳۰' E	۳۲° ۲۰' N	۸۳
بروجرد	BJD16	BJD17	۱۴/۶	۳۹۰	۴۸° ۷۶' E	۳۳° ۸۹' N	۱۵۲۰
ایران‌شهر	IRS16	IRS17	۲۶/۵۰	۱۰۶	۶۰° ۴۰' E	۲۷° ۱۵' N	۵۹۱

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق اجرای آزمایش

ویژگی‌های خاک	گرگان	دزفول	بروجرد	ایران‌شهر
اسیدیته	۷/۲	۷/۹	۷/۴	۷/۵۲
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۳	۰/۸	۲/۲۳	۳/۴۷
درصد کربن آلی	۱/۱	۰/۸۱	۰/۴۸	۰/۴۱
درصد نیتروژن کل	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴
فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۶/۶	۱۰/۲	۷/۵	۱۰
پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۰۰	۲۰۹	۲۹۳	۳۴۵
درصد رس	۳۰	۳۴	۱۲	۶
درصد سیلت	۵۲	۳۵	۱۸/۵	۳۴
درصد شن	۱۶	۳۱	۶۹/۵	۶۰
بافت خاک	لوم رسی شنی	سیلتی کلی	لوم شنی	لوم شنی

یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام شد، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای چهار مکان و دو سال با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی بودن اثر سال و مکان با استفاده از نرم‌افزار SASver9.4 انجام شد. برای مقایسه میانگین صفات مختلف از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (ویژگی‌های) در سطح احتمال ۰/۰۵ از نرم‌افزار SASver9.4 استفاده شد. تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، با استفاده از تجزیه GGE- Biplot و به‌کمک نرم‌افزار GGE- Biplot انجام شد.

برای تجزیه پایداری به‌روش GGE- Biplot از مدل آماری زیر استفاده شد (۳۲):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

در مدل فوق  $Y_{ij}$  میانگین آمین ژنوتیپ در آمین محیط،  $\mu$  میانگین کل،  $\beta_j$  میانگین اثر محیط  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$  بردارهای ویژه ژنوتیپی و  $\eta_{j1}$  و  $\eta_{j2}$  بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و  $\varepsilon_{ij}$  مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ  $i$ ام در محیط  $j$ ام هستند.

## نتایج و بحث

پس از انجام آزمون بارتلت و با توجه به اینکه آماره کای دو ( $\chi^2$ ) آزمایش با درجه آزادی ۷ از مقدار جدول در سطح احتمال یک درصد کوچک‌تر بود، فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی رد نشد. تجزیه واریانس مرکب بر اساس روش کمترین مربعات با ثابت انگاشتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر سال و مکان انجام شد (جدول ۴). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد، اثر مکان، اثر سال، اثر متقابل مکان  $\times$  سال، اثر ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  سال، اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  مکان و اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  سال  $\times$  مکان بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ روز تا گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول

۴). عمار و همکاران (۳) با بررسی صفات مورفولوژیک ۴۰ ژنوتیپ باقلا تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مختلف گزارش کردند. در پژوهش حاضر بخش عمده تغییرات توسط محیط توجیه شد و این به‌علت تفاوت اقلیم، ویژگی‌های خاک، میزان بارندگی، توزیع بارندگی، ارتفاع، تفاوت دمایی شب و روز محیط‌های مورد بررسی است (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج پژوهش فیکر و همکاران (۹)، نیز روی باقلا نشان داد، اثر محیط ۸۸/۵ درصد از مجموع مربعات کل را به‌خود اختصاص داد. نتایج مطالعات سایر پژوهشگران نیز روی سایر محصولات نشان داد، تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را شامل می‌شود (۵، ۹، ۱۱، ۲۱، ۲۵ و ۲۸). همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نیز نشان دهنده بیان متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های مختلف است (جدول ۴). در مطالعه فیکر و همکاران (۹) و تکالین و همکاران (۲۸) روی پایداری عملکرد دانه باقلا نیز اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط و عدم توجه به آن موجب کاهش کارایی گزینش ژنتیکی و بهره‌مندی به‌نژادی می‌شود (۱۷). در مطالعه حاضر با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط و تأیید آن بر اساس میانگین عملکرد دانه متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف (دامنه تغییرات عملکرد ۶۰۵۸-۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۶)، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط از روش چندمتغیره GGE- Biplot استفاده شد.

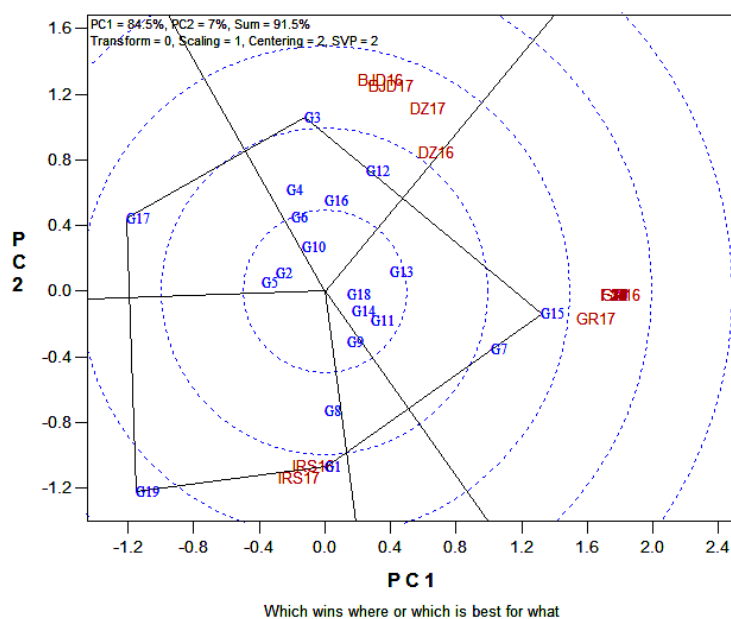
نتایج تجزیه GGE- Biplot به‌صورت نمودار چندضلعی (Polygon) در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس مدل GEI دو مؤلفه اول در مجموع ۹۱/۵ درصد از تغییرات اثر متقابل را توجیه کردند.

با بررسی این نمودار سه محیط کلان نیز مشخص شدند، محیط کلان اول شامل دو محیط GR16 (گرگان ۹۵-۹۴)، GR17 (گرگان ۹۶-۹۵) که ژنوتیپ G15، ژنوتیپ برتر این محیط بود (شکل ۱). محیط کلان دوم شامل BJD16، DZ17 و BJD17 بود و ژنوتیپ G3 به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های باقلا ارزیابی شده در چهار مکان (گرگان، دزفول، بروجرد و ابرانشهر) و دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۴

عملکرد دانه	وزن صد دانه	میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
		تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف	ارتفاع بوته	روز تا گل دهی		
۱۶۸۵۹۴۹۶۳**	۱۱۸۴۵**	۱۲/۶**	۵۸۳۷**	۵۵۰۵۴**	۴۶۱۶۱**	۳	مکان
۱۸۵۳۸۰*	۷۱/۶۴ <sup>ns</sup>	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۳۹/۸*	۵۲۹**	۲۸**	۱	سال
۱۹۹۲۷۵۵**	۵۲۴**	۱/۶۴**	۸۴/۹**	۶۶۳۹**	۴۳۸**	۳	سال × مکان
۶۰۵۴۳	۱۲۲	۰/۱۱	۸/۱۴	۳۵/۴	۵/۰۸	۱۶	خطای ۱
۲۳۴۹۹۷۵**	۲۸۸۵**	۲/۸۰**	۲۳۱**	۴۳۷**	۵۹/۰**	۱۸	ژنوتیپ
۱۹۶۷۰۳۴**	۱۲۷۶**	۰/۴۴**	۶۹/۸**	۲۷۶**	۴۶۸**	۵۴	ژنوتیپ × مکان
۱۳۲۰۶۶**	۱۴۹*	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۱۹/۵**	۹۱/۸**	۵/۴۰**	۱۸	ژنوتیپ × سال
۱۲۷۶۸۷**	۱۳۴**	۰/۱۹**	۱۷/۸**	۱۰۸**	۶/۸۳**	۵۴	ژنوتیپ × سال × مکان
۲۹۶۴۲	۸۲/۳	۰/۲۰	۵/۱۰	۳۱/۵	۰/۸۸	۲۸۸	خطای ۲

ns، \*، \*\* به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد



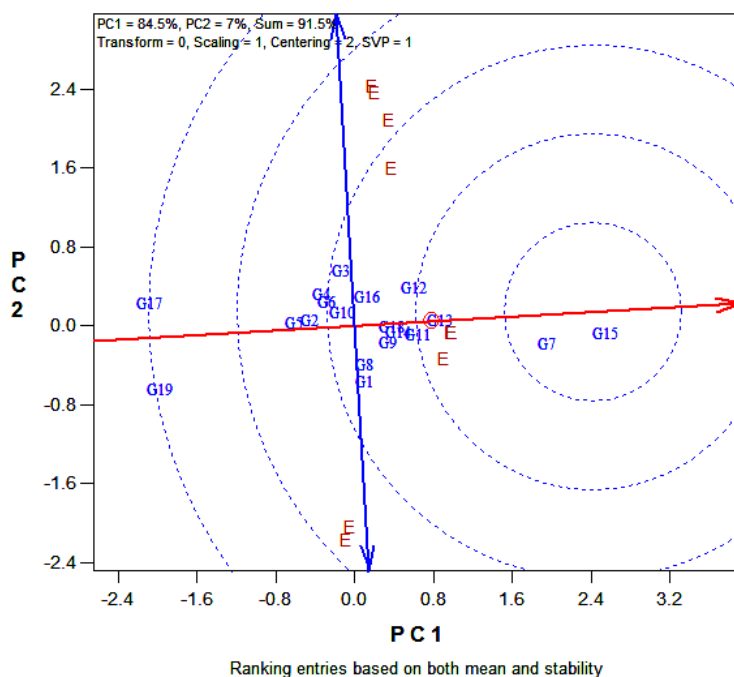
شکل ۱. نمودار چندضلعی GGE biplot برای گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه

GR16: گرگان-۱۳۹۵، GR17: گرگان-۱۳۹۶، DZ16، DZ17: دزفول-۱۳۹۵، DZ16، DZ17: دزفول-۱۳۹۶، BJD16، BJD17: بروجرد-۱۳۹۵، BJD17: بروجرد-۱۳۹۶

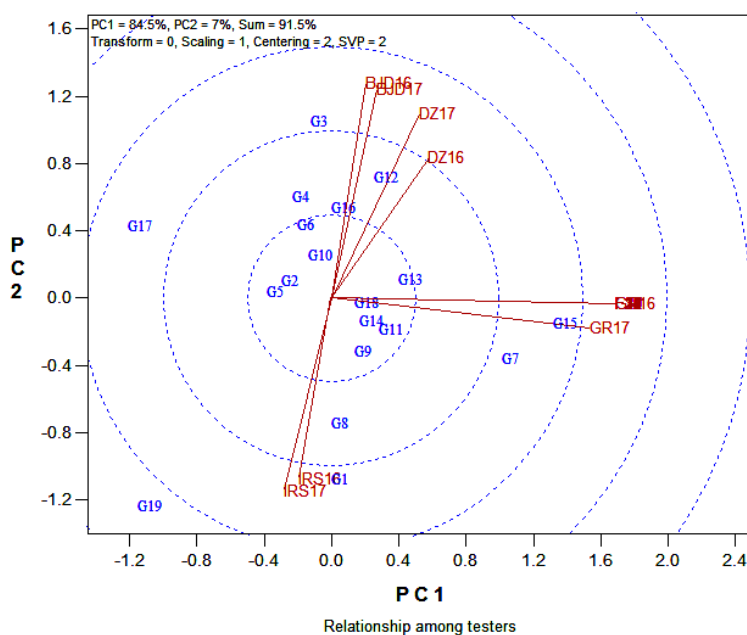
IRS16، IRS17: ایرانشهر ۱۳۹۵، IRS17: ایرانشهر ۱۳۹۶

می‌شود و بعد از آن ژنوتیپ G7 در فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفت (شکل ۳). پس از آن ژنوتیپ‌های G11، G12 و G13 که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، ژنوتیپ‌های مطلوب‌تری هستند و در رتبه دوم قرار دارند. برای تعیین ژنوتیپ ایده‌آل دو معیار پایداری و عملکرد بالا مدنظر است، بنابراین ژنوتیپی ایده‌آل است که دارای حداکثر عملکرد و پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را به ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد در رتبه‌های بعدی مطلوبیت قرار دارد (۳۲). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های G7، G15، G11 و G12 دارای عملکرد بالا و پایداری متوسط به بالا هستند. لذا این ژنوتیپ‌ها در درجه اول برای کشت در طیف گسترده‌تری از شرایط محیطی توصیه می‌شوند و در درجه دوم می‌توانند به عنوان والد در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود همزمان سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G9، G14، G18، G1، G8، G16، G3، G10، G4 و G6 در رتبه سوم قرار دارند و ژنوتیپ‌های G2

شناسایی شد. ژنوتیپ G19 (رقم بلوچی) نیز ژنوتیپ برتر محیط کلان سوم IRS16 و IRS17 بود. ژنوتیپ G17 (رقم زرشکی) نیز که در رأس قرار داشت، در هیچ یک از محیط‌های کلان قرار نگرفت که نشان‌دهنده عدم تولید عملکرد بالای این ژنوتیپ در تمامی محیط‌ها است. فلورز و همکاران (۱۱) نیز پس از مطالعه عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ باقلا در ۱۳ محیط، ۳ محیط کلان را شناسایی کردند که ژنوتیپ‌های متفاوتی در این محیط‌ها برتر بودند. بر اساس مدل GGE (G + GEI) در تجزیه بای‌پلات نیز ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا مشخص شدند (شکل ۲). ژنوتیپی که در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارد، ژنوتیپ ایده‌آل محسوب می‌شود، در همه محیط‌ها بالاترین عملکرد را دارد و به‌طور مطلق پایدار است. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری است (۳۳). ژنوتیپ‌هایی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل دارند ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار خواهد بود. ژنوتیپ G15 در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار داشت و ژنوتیپ پایدار محسوب



شکل ۲. بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل



شکل ۳. بای پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه

GR16: گرگان-۱۳۹۵، GR17: گرگان-۱۳۹۶، DZ16: دزفول-۱۳۹۵، DZ17: دزفول-۱۳۹۶، BJD16: بروجرد-۱۳۹۵،

BJD17: بروجرد-۱۳۹۶، IRS16: ایرانشهر-۱۳۹۵، IRS17: ایرانشهر-۱۳۹۶

محیط‌های GR16 و GR17 بلندترین طول بردار و کمترین فاصله با محیط ایده‌ال را دارند. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، نتایج آزمایش قابل اعتماد نخواهند بود.

از نمودار AEC (Average Environment coordinate) برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد استفاده می‌شود. محور افقی نشان‌دهنده عملکرد ژنوتیپ‌ها و محور عمودی برآوردی از GEI هر ژنوتیپ است (۸). فاصله کمتر از محور افقی نشانگر پایداری ژنوتیپ است، پس از بررسی شکل ۵ می‌توان گفت ژنوتیپ‌های G15 و G7 بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌های G17 و G19 کمترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های G13، G14 و G18 به دلیل اینکه تقریباً روی محور افقی قرار گرفته‌اند، دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی هستند و بیشترین پایداری را دارند. به‌طور کلی ژنوتیپ G15 به‌عنوان ژنوتیپ پرمحصول و پایدار معرفی شد. اگر عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی منجر به ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشند، الگوهای پیش‌بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال‌ها تکرارپذیر نخواهد بود، بنابراین بایستی با انتخاب ژنوتیپ پایدار و با عملکرد زیاد، حداکثر تولید را داشت.

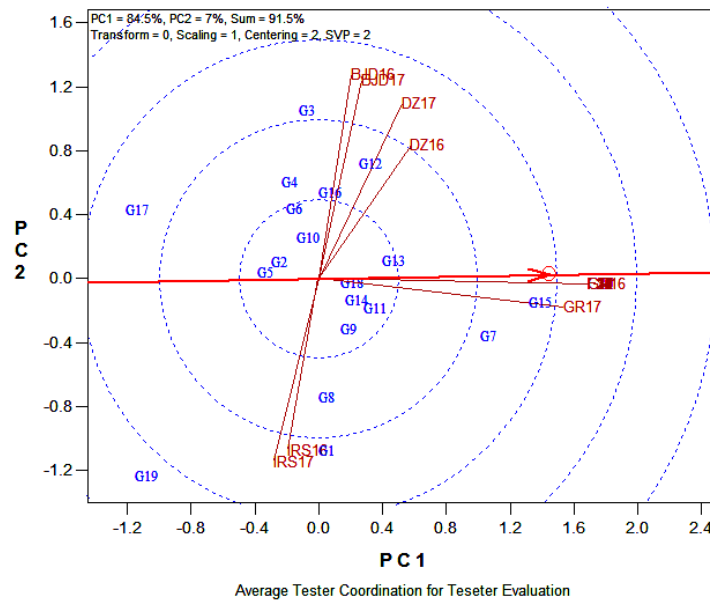
با توجه به نقش باقلا در تناوب و تولید پروتئین، بایستی از علم به‌نژادی، تنوع ژنتیکی، تنوع اقلیم و فصل کشت در راستای معرفی ارقام مناسب مناطق مختلف به‌منظور افزایش عملکرد این محصول استفاده شود. در این تحقیق در انتخاب نهایی لاین‌ها علاوه بر عملکرد و پایداری عملکرد، سایر خصوصیات زراعی و مورفولوژیک نیز بررسی شدند (جدول ۵). نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۲۵۰/۸ تا ۳۴۳۹/۳ متغیر بود و ژنوتیپ‌های G15 و G19 به‌ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G6، G7، G9، G11، G12، G13، G14، G15 و G16 نیز از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بیشتر بود (جدول ۶). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی رقم بلوچی کمترین تعداد روز تا گل‌دهی را به‌خود اختصاص داد. ژنوتیپ

G5، G17 و G19 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. فایری و همکاران (۱۰) از روش GGE- Biplot برای مقایسه ارقام لوبیا سفید با رقم ایده‌ال استفاده کردند.

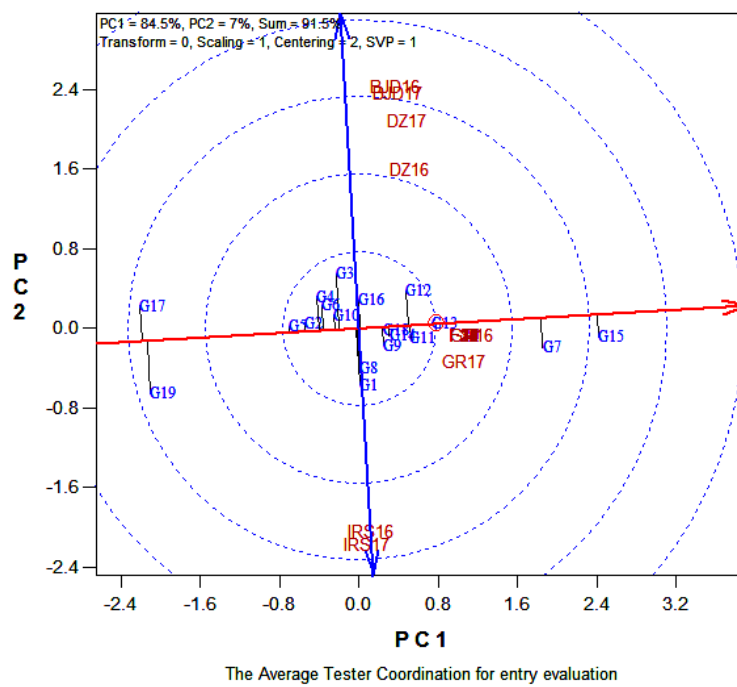
برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های مورد بررسی از نموداری استفاده می‌شود که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ وصل می‌شوند (شکل ۳). کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آنها را نشان می‌دهد (۸)، بنابراین زاویه کوچک‌تر بین دو بردار به‌معنای همبستگی مثبت و بالای بین آنها است. با استفاده از نتایج این نمودار می‌توان محیط‌های مشابه و یا نزدیک به هم را شناسایی کرد، با حذف محیط‌های مشابه در آزمایش‌های بعدی در وقت و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد و کارایی افزایش خواهد یافت (۳۲). زلک و برهانو (۳۵) نیز در آزمایشی پایداری عملکرد ۱۶ لاین باقلا را در دو سال و پنج مکان ارزیابی و محیط‌ها را از لحاظ قدرت تمایز گروه‌بندی کردند. در این بررسی بین محیط‌های GR16 و GR17 همبستگی بالایی وجود دارد، این دو محیط بیشترین قدرت تمایز را دارند و بعد از آن محیط‌های BJD16 و BJD17 قرار دارند. اگر محیطی دارای طول بردار کوتاه، در نتیجه قدرت تمایز کمتری باشد اطلاعاتی درباره ژنوتیپ‌های مورد بررسی نمی‌دهد، بنابراین این محیط آزمایش بی‌نتیجه خواهد بود. فایری و همکاران (۱۰) با استفاده از نمودار بررسی همبستگی بین محیط‌ها در بررسی سازگاری لوبیا سفید در اتیوپی، بر اساس زاویه بین بردارها هفت محیط را به دو گروه مجزا تقسیم کردند و نتیجه گرفتند با اجرای آزمایش در دو مکان نیز به نتایج مشابه دست خواهند یافت. طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد و این انحراف معیار توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد.

در شکل ۴ با استفاده از بردار، محیط ایده‌ال نشان داده شده است، هر محیطی که کمترین زاویه را با بردار افقی داشته باشد، به محیط ایده‌ال نزدیک‌تر و محیط نماینده خواهد بود. بنابراین محیط‌های نزدیک به محیط ایده‌ال و دارای طول بردار بلندتر توانایی تمایز و قدرت نمایندگی بیشتری دارند. در این بررسی





شکل ۴. بای پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌ال



شکل ۵. بای پلات برای گزینش همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

GR16: گرگان-۱۳۹۵، GR17: گرگان-۱۳۹۶، DZ16: دزفول-۱۳۹۵، DZ17: دزفول-۱۳۹۶، BJD16: بروجرد-۱۳۹۵، BJD17: بروجرد-۱۳۹۵، IRS16: ایران‌شهر-۱۳۹۶، IRS17: ایران‌شهر-۱۳۹۵

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ برای عملکرد دانه و برای صفات مورفولوژیک در ژنوتیپ‌های باقلا ارضایی شده در چهار مکان و دوسال (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۵-۱۳۹۴)

شماره ژنوتیپ	روز تا گل‌دهی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد غلاف	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شماره ژنوتیپ
G1	۱۰۱/۰de	۷۱/۹h	۱۰/۰hij	۳/۳cde	۱۱۹/۷de	۲۶۸/۴h	G1
G2	۱۰۰/۱f	۶۹/۸i	۱۱/۳efg	۳/۳cde	۱۱۷/۸def	۲۵۷/۵i	G2
G3	۱۰۱/۳bcd	۷۴/۸fgh	۱۹/۱a	۳/۳cde	۹۹/۴kl	۲۹۳/۶e	G3
G4	۱۰۱/۶b	۷۴/۰gh	۱۵/۳cd	۳/۳cde	۱۰۲/۷ik	۲۸۰/۱g	G4
G5	۱۰۰/۴f	۶۹/۰i	۱۶/۹b	۲/۶f	۹۴/۹l	۲۸۴/۶fg	G5
G6	۹۹/۵g	۷۴/۲gh	۱۴/۳cd	۳/۳cde	۱۰۶/۱j	۳۲۶/۲b	G6
G7	۱۰۰/۱f	۷۷/۱cdef	۱۲/۷e	۳/۶b	۱۱۳/۵fg	۳۱۲/۸cd	G7
G8	۱۰۰/۶ef	۷۴/۹efgh	۱۰/۵ghi	۲/۴bc	۱۲۹/۲b	۲۸۲/۹efg	G8
G9	۱۰۱/۱cde	۷۹/۳bc	۱۱/۱g	۳/۹a	۱۲۱/۶cd	۳۱۱/۷cd	G9
G10	۱۰۲/۲a	۷۳/۶gh	۱۰/۳efghi	۳/۶b	۱۱۵/۹efg	۲۸۲/۸fg	G10
G11	۱۰۲/۲a	۷۳/۸gh	۱۰/۳efghi	۳/۳cd	۱۳۴/۴a	۳۱۲/۱cd	G11
G12	۱۰۰/۹de	۸۰/۳abc	۱۲/۷e	۳/۱de	۱۱۲/۱gh	۳۲۸/۸b	G12
G13	۱۰۰/۶ef	۷۴/۴gh	۱۳/۱e	۳/۱de	۱۱۲/۲gh	۳۰۹/۵d	G13
G14	۱۰۱/۵bc	۸۱/۸ab	۱۲/۳ef	۳/۳cd	۱۲۵/۸bc	۳۲۷/۸ab	G14
G15	۹۹/۱gh	۷۵/۵defg	۱۴/۵cd	۳/۱de	۱۱۹/۶de	۳۴۳/۹a	G15
G16	۱۰۰/۲f	۸۲/۸a	۹/۵ij	۴a	۱۱۸/۷de	۳۱۹/۵bc	G16
G17	۱۰۰/۲f	۸۱/۶ab	۱۵/۴c	۳/۲de	۸۵/۶m	۲۶۱/۱hi	G17
G18	۱۰۰/۱f	۷۸/۳cde	۱۰/۹gh	۳/۳cd	۱۱۲/۱gh	۲۹۱/۰ef	G18
G19	۹۸/۹h	۷۹/۵cd	۹/۳j	۲/۸f	۱۰۶/۴ij	۲۲۵/۰j	G19
LSD%	۰/۵۳	۳/۱۹	۱/۰۶	۰/۲۲	۴/۹	۹۷/۸۲	LSD%

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون LSD است.

جدول ۶. میانگین، حداقل، حداکثر و دامنه عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ۱۹ ژنوتیپ باقلا بررسی شده در هشت محیط طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۴

دامنه	حداکثر	حداقل	محیط								شماره ژنوتیپ
			IRS17	BJD17	DZ17	GR17	IRS16	BJD16	DZ16	GR16	
۳۴۶۲	۴۷۳۸	۱۲۷۶	۲۶۸۴	۳۱۱۵	۱۲۷۶	۳۴۶۲	۱۸۴۶	۲۶۸۹	۱۵۵۵	۴۲۸۸	G1
۲۷۱۳	۳۸۶۶	۱۱۵۲	۲۵۷۵	۳۳۵۶	۱۹۷۱	۲۷۱۳	۱۱۵۲	۳۵۰۶	۱۸۰۵	۳۸۶۶	G2
۳۸۶۹	۴۷۶۱	۸۹۲	۲۹۴۴	۴۷۶۱	۲۶۱۸	۳۸۶۹	۸۹۲	۴۱۷۷	۲۲۵۹	۴۰۶۸	G3
۳۱۶۰	۴۲۹۰	۱۱۳۰	۲۸۰۲	۴۲۹۰	۳۳۸۹	۳۱۶۰	۱۱۳۰	۳۷۵۹	۲۰۹۷	۳۹۳۴	G4
۲۹۷۸	۴۶۶۱	۱۶۸۲	۲۸۴۶	۴۶۶۱	۱۶۸۲	۲۹۷۸	۱۶۸۳	۳۸۵۲	۱۷۶۳	۳۷۵۰	G5
۲۶۵۲	۴۵۹۲	۱۹۳۹	۳۲۶۲	۴۵۹۲	۲۹۰۴	۲۶۵۲	۱۹۳۹	۳۸۳۱	۲۶۸۷	۳۹۵۲	G6
۴۱۷۱	۵۶۳۰	۱۴۵۸	۳۱۲۸	۳۶۹۷	۲۳۰۴	۴۱۷۱	۱۴۶۵	۲۹۰۰	۲۰۷۸	۵۶۳۰	G7
۲۴۹۴	۳۳۰۰	۱۸۰۵	۲۸۴۸	۳۵۳۲	۲۰۸۶	۲۴۹۴	۲۲۰۱	۲۹۹۴	۱۸۰۵	۴۳۰۰	G8
۲۳۱۵	۴۴۵۴	۲۱۳۹	۳۱۱۷	۳۸۴۸	۲۱۳۹	۲۳۱۵	۲۱۵۰	۳۶۳۷	۲۵۳۴	۴۴۵۴	G9
۲۷۱۸	۴۰۶۲	۱۳۴۴	۲۸۲۸	۳۷۶۹	۲۱۶۳	۲۷۱۸	۱۳۴۴	۳۲۶۷	۲۷۲۸	۴۰۶۲	G10
۲۷۷۱	۴۶۴۵	۱۸۷۴	۳۱۲۱	۴۰۶۲	۲۰۶۵	۲۷۷۱	۱۸۷۵	۳۸۳۹	۲۱۴۴	۴۶۴۵	G11
۳۰۸۵	۴۵۹۴	۱۵۰۹	۳۲۸۸	۴۳۲۲	۲۴۸۲	۳۰۸۵	۱۵۰۹	۴۵۹۴	۳۱۰۳	۴۵۸۱	G12
۳۲۳۵	۴۸۲۵	۱۵۸۹	۳۰۹۴	۴۶۶۵	۲۲۸۲	۳۲۳۵	۱۸۰۲	۳۹۷۹	۱۸۸۸	۴۸۲۵	G13
۳۰۳۵	۵۰۳۹	۲۰۰۳	۳۲۷۷	۴۸۳۹	۱۸۰۳	۳۰۳۵	۳۳۰۲	۴۴۶۸	۲۱۴۶	۴۲۹۱	G14
۴۴۴۴	۶۰۵۸	۱۶۱۳	۳۴۳۹	۴۳۳۱	۲۱۹۸	۴۴۴۴	۱۶۱۳	۴۱۸۳	۲۰۸۹	۶۰۵۸	G15
۲۶۸۳	۴۲۹۴	۱۶۱۱	۳۱۹۴	۴۲۹۴	۲۹۱۶	۲۶۸۳	۱۸۲۲	۴۲۷۹	۲۴۰۹	۴۲۴۰	G16
۳۵۷۰	۴۹۷۳	۱۴۰۲	۲۶۱۱	۴۹۷۳	۱۶۴۳	۳۵۷۰	۱۶۴۵	۴۶۹۲	۱۴۰۲	۲۶۵۹	G17
۳۰۵۶	۴۴۵۴	۱۳۹۷	۲۹۱۰	۳۹۷۰	۲۱۵۴	۳۰۵۶	۱۳۹۷	۳۵۳۳	۱۹۹۹	۴۴۵۴	G18
۱۰۹۷	۲۷۵۰	۱۶۵۳	۲۲۵۰	۲۲۴۵	۱۷۴۵	۱۰۹۷	۲۴۴۵	۲۱۵۰	۱۶۵۳	۲۷۵۰	G19

میانگین: GR16: ۱۳۹۵، GR17: ۱۳۹۶، DZ16: ۱۳۹۵-دزفول، DZ17: ۱۳۹۵-دزفول، BJD16: ۱۳۹۶-بروجرد، BJD17: ۱۳۹۵-بروجرد، IRS16: ۱۳۹۵-ایران‌شهر، IRS17: ۱۳۹۶-ایران‌شهر.

پایدارترین ژنوتیپ و ارقام زرشکی و بلوچی (G17 و G19) با دارا بودن بیشترین اثر متقابل در هر دو مؤلفه ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در میان ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های بررسی شده در هشت محیط، ژنوتیپ G15 و بعد از آن به ترتیب ژنوتیپ‌های G12 و G14 به عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه زیاد و پایدار شناسایی شدند، بررسی اجزای عملکرد نیز نشان داد، ژنوتیپ‌های G15، G12 و G14 علاوه بر عملکرد دانه، از لحاظ تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صدانه برتر از میانگین ژنوتیپ‌ها بودند، که نشان‌دهنده اهمیت این صفات در افزایش عملکرد و پایداری عملکرد است، این ژنوتیپ‌ها می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند.

### سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۹۴۲۸۸-۰۳-۵۷-۰ استخراج شده است. بدین وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مدیریت مراکز و ایستگاه‌های تحقیقاتی مرتبط که نهایت همکاری را در فراهم آوردن امکانات لازم و اجرای این تحقیق به عمل آوردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

G16 بیشترین ارتفاع بوته، ژنوتیپ G3 بیشترین تعداد غلاف در بوته، رقم شاهد برکت بیشترین تعداد دانه در غلاف، ژنوتیپ G11 بیشترین وزن صد دانه و ژنوتیپ G15 بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند (جدول ۵).

### نتیجه‌گیری نهایی

در مطالعه حاضر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از اثر ژنوتیپ روی عملکرد دانه بیشتر بود. در واقع ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از لحاظ عملکرد دانه پاسخ متفاوتی به محیط‌های مختلف داشتند. با توجه به تجزیه تحلیل‌های مختلف انجام شده در این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت، که روش GGE، روش قدرتمندی برای بررسی ماهیت چندبعدی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. بر اساس مدل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تجزیه GGE- Biplot، بیش از ۹۱/۵ درصد از تغییرات اثر متقابل توسط دو مؤلفه اول توجیه شد. بررسی نتایج نشان داد، سه محیط کلان تعیین شده، با استفاده از مدل GGE بای‌پلات از لحاظ مشخصات اقلیمی و خاک با هم تفاوت دارند. همچنین محیط گرگان بیشترین تأثیر را در برهم‌کنش داشت و به عنوان محیط ایده‌آل برای تمایز ژنوتیپ‌های باقلا شناسایی شد. ژنوتیپ G15 با میانگین عملکرد دانه ۳۴۳۹ کیلوگرم در هکتار و دارا بودن کمترین اثر متقابل در هر دو مؤلفه به عنوان

### منابع مورد استفاده

1. Akan, K. and A. Akcura. 2018. GGE- Biplot analysis of reactions of bread wheat pure lines selected from central anatolian landraces of Turkey to leaf rust disease (*Puccinia triticina*) in multiple location-years. *Cereal Research Communications* 46(2): 311-320. DOI: 10.1556/0806.46.2018.12
2. Ali, I., N. Ullah khan, F. Mohammad, M. Atif, A. Abbas, Z. Bibi, S. Ali, I. Amin, Sh. Ahmad and A. Mehboob-ur-rahman. 2017. Genotype by environment and GGE- Biplot analyses for seed cotton yield in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany* 49(6): 2273-2283.
3. Ammar, M. H., S. Alghamdi, S. Migdadi, A. Muhammad, H. M. Khan, E. H. El-Harty and S. A. Al-Faifi. 2015. Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agro-morphological and molecular markers. *Saudi Journal of Biological Sciences* 22: 340-350.
4. Botovic, D., T. Tivanovic, V. Popovic, M. Tatic, Z. Gospavic, Z. Miloradovic, G. Stankovic and M. Dokic. 2018. Assessment stability of maize lines yield by GGE- Biplot analysis. *Genetika* 50(3): 755-770.
5. Brankovic-Radojcic, D., V. Babic, Z. Girek, T. Tivanovic, A. Radojcic, M. Filipovic and J. Srdic. 2018: Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika* 50: 1067-1080.
6. Donoso-Nanculao, G., M. Paredes, V. Becerra, C. Arrepol and C. Balzarini. 2018. GGE- Biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76(2):

- 152-157.
7. FAO. 2017. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat). Accessed 10 June 2017.
  8. Farshadfar, E. 2013. Simultaneous selection of yield and yield stability in chickpea genotypes using the GGE-Biplot technique. *Acta Agronomica Hungarica* 61: 185-194.
  9. Fikere, M., T. Tadesse and T. Letta. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in south eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production* 3(6): 80-87.
  10. Firew, A. M., B. Amsalu and D. Tsegaye. 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): 2135-2145.
  11. Flores, F., M. Hybl, J. C. Knudsen, P. Marget, F. Muel, S. Nadal, L. Narits, B. Raffiot, O. Sass, I. Solis, J. Winkler, F. L. Stoddard and D. Rubiales. 2013. Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research* 145: 1-9.
  12. Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488-1500.
  13. Gurmu, F., E. A. Lire, A. Asfaw, F. Alemayehu, Y. Rezene and D. Ambachew. 2012. GGE- biplot analysis of grain yield of faba bean genotypes in Southern Ethiopia. *Electronic Journal of Plant Breeding* 3(3): 898-907.
  14. Jahanzaib, M., N. Nawaz, H. Khurshid, S. A. Jan, M. Arshad and I. Hassan. 2019. Estimating genotype  $\times$  environment interaction for groundnut seed yield across different ecological zones. *International Journal of Agriculture and Biology* 22: 139-145.
  15. Karkanis, A., G. Ntatsi, L. Lepse, J. A. Fernandez, I. M. Vagen, B. Rewald, I. Alsina, A. Kronberga, A. Balliu, M. Olle, G. Bodner, I. Dubova, E. Rosa and D. Savvas. 2018. Faba bean cultivation – revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science* 9:11-15. doi: 10.3389/fpls.2018.01115
  16. Katerj, N., J. W. Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli and T. Oweis. 2009. Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties I. Chickpea and faba bean. *Agriculture Water Management* 72: 177-194.
  17. Koocheki, A. R., B. Sorkhi Lalehloo and M. R. Eslamzadeh Hesari. 2012. Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE- Biplot. *Seed and Plant Improvement Journal* 28(1): 533-543. (In Farsi).
  18. Kooshki, M. H., M. Ghaedrahmati, B. Assadi, M. Kamel, M. B. Khorshidi Benam and H. R. Dorri. 2016. Analysis of yield stability of some white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using AMMI method. *Seed and Plant Improvement Journal* 32(1): 557-573. (In Farsi).
  19. Pourdad, S. S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013a. Study on seed yield stability of sunflower inbred lines through GGE- biplot. *Helia* 36(58): 19-28.
  20. Pourdad, S. S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013b. Study on genotype  $\times$  environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding* 5: 1-13.
  21. Sabaghpour, S. H., F. Razavi, S. F. Danyali, D. Tobe and A. Ebadi. 2012. Additive main effect and multiplicative interaction analysis for grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Iran. *International Scholarly Research Network* doi:10.5402/2012/639381.
  22. Sadeghi, S. M. and H. Samizadeh. 2011. Evaluation of yield stability of Virginia tobacco hybrids using stability parameters and pattern analysis via AMMI model. *Electronic Journal of Crop Production* 3: 103-119. (In Farsi).
  23. Sarparast, R., F. Sheikh and H. A. Sowghi. 2011. Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 2: 99-106. (In Farsi).
  24. Sheikh, F. and M. T. Feyzbakhsh. 2019. Faba bean Handbook. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Farsi).
  25. Shiri, M. R. and T. Bahrampour. 2016. Genotype  $\times$  environment interaction analysis using GGE- biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research* 5: 83-94. (In Farsi).
  26. Tadele, M. 2019. Breeding achievements of faba bean (*Vicia faba* L.) and its impact in the livelihood of Ethiopian farmers. *International Journal of Agriculture and Biosciences* 8(5): 263-269.
  27. Tadesse, T., B. Mulugeta, G. Sefera and A. Tekalign. 2016. Genotypes by environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). Grain yield in the highland of bale zone, southeastern Ethiopia. *Plant* 5: 13-17. doi: 10.11648/j.plant.20170501.13.
  28. Tekalign, A., J. Sibiya, J. Derera and A. Fikre. 2017. Analysis of genotype  $\times$  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): 1228-1235.

29. Temesgena, T., G. Kenenib, T. Seferaa and M. Jarsob. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal* 3: 258-268.
30. Tolessa, T., T. K. Gemechu, H. Mohammed and S. K. Ahmed. 2019. Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced  $G \times E$  interaction and increased inter-temporal performance stability. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 22(3): 265-274.
31. Yan, W. and L. A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 42: 21-30.
32. Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE- biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
33. Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE- biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
34. 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: 643-655.
35. Zeleke, A. A. and F. A. Berhanu. 2016. AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 6(9): 127-135.

## Evaluation of Seed Yield Stability of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes Using GGE Biplot Analysis

F. Sheikh<sup>1\*</sup>, R. Sekhavat<sup>2</sup>, H. Asteraki<sup>3</sup>, A. Parkasi<sup>4</sup> and M. A. Aghajani<sup>5</sup>

(Received: February 22-2021; Accepted: March 16-2021)

### Abstract

To investigate adoptability and pattern of  $G \times E$  interaction, 15 faba bean lines as well as four check cultivars (including Barekat, Saraziri, Baloochi and Zeresghi) were evaluated using a randomized complete block design with three replications in four agricultural research field stations of Gorgan, Dezful, Brojerd and , Iranshahr, Iran during two cropping seasons (2015-2016 and 2016-2017). Combined analysis of variance showed significant effects of location, year, year  $\times$  location interaction, genotype  $\times$  location interaction, genotype  $\times$  year interaction and year  $\times$  location  $\times$  genotype interaction on grain yield. Stability in performance of the 19 genotypes was tested using GGE-Biplot approach across eight environments. GGE- Biplot analysis using a genotype  $\times$  environment interaction (GEI) model explained 91.5% of total interaction effect variance. View of polygon graph revealed three superior mega-environments and the compatible genotypes were determined for each mega-environment; Gorgan (Line G15), Brojerd-Iranshahr (Line G3) and Iranshahr (Line G19). Lines G15, G7 and G13 with average seed yield of 3439, 3128 and 3094 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, had higher seed yield and yield stability. Based on GEI and GGE- Biplot analysis, Gorgan and Brojerd experimental environments had good differentiation ability. Finally, genotypes G12, G14 and G15 were the most stable genotypes with wider adaptation to all the tested environments and can be recommended as the superior genotypes for being released as new commercial faba bean cultivars.

**Keywords:** Genotype by environment interaction, Ideal genotype, mega environment, wide adaptation, Specific adaptation

- 
- 1, 5. Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department and Associate Professor, Department of Plant Protection, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
  2. 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.
  3. 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.
  4. Researcher, Seed and Plant Improvement Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranshahr, Iran.
- \*: Corresponding Author, Email: sheikhfatemeh@yahoo.com