

## Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean genotypes using the biplot method

Fatemeh Sheikh<sup>1\*</sup>, Hossein Nazari<sup>2</sup>, Hamidreza Fanaii<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran, Email: sheikhfatemeh@yahoo.com
2. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran, Email: nazary28@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Genetics and National Plant Gene Bank of Iran, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: fanay52@yahoo.com

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 2021/11/22  
Revised: 2022/03/12  
Accepted: 2022/04/10

**Keywords:**  
Genotype × Environment  
Interaction (GEI)  
Genotype by Trait (GT)  
Biplot  
Ideal genotype  
Seed yield

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Faba bean (*Vicia faba* L.) is grown worldwide as a protein source for food and feed. It can be used in diet as a vegetable, green or dried, fresh or canned. It is a very valuable legume crop that contributes to the sustainability of cropping systems by its ability of biological N<sub>2</sub> fixation. The aim of the study were to determine the magnitude of G × E interaction and to identify high yielding and stable or specifically adapted genotypes for target environment(s). Furthermore to evaluating cultivars based on multiple traits and studying relationship among traits, The GT biplot was used.

**Materials and methods:** In this research to finding interrelationships between different traits and adoptability faba bean promising lines, 9 faba bean lines as well as check cultivar, Barekat were evaluated using randomized complete block design with three replications in three agricultural research field stations of Gorgan, Zanjan (Tarom) and, Zabol for two cropping seasons (2016-17 and 2017-18). The plant height (PH) and lowest pod height was calculated before harvesting, in each plot were harvested by hand at harvest maturity stage and seed number/pod (SP), pod number/plant (PN) and hundred seed weight (100SW) measured on ten plants selected randomly from all plots. Data were analyzed using SAS software and the means were compared using LSD test at a probability level of 5%. A GGE-Biplot was used to analyses G x E interaction and stability of the genotypes based on the trait grain yield (Kg ha<sup>-1</sup>). In order to determining the interrelationships among traits and identifying suitable traits for indirect selection, the genotype by trait (GT) was done.

**Results:** Combined analysis of variance showed significant effects of genotype, environment, genotype × environment interaction, on grain yield. Stability in performance of the 10 genotypes was tested using GGE-Biplot approach across five environments. GGE-Biplot analysis using a genotype × environment interaction (GEI) model explained 95.1% of total interaction effect variance. View of polygon graph revealed two superior mega-environments and the compatible genotypes were determined for each mega-environment; Gorgan and Tarom (Line G9), Zabol (Line G1). Lines G9, G4, G7 and G1 with average seed yield of 3.22, 3.06, 2.88 and 2.87 t ha<sup>-1</sup>, respectively, had higher seed yield and yield stability. Based on GEI and

---

---

GGE-Biplot analysis, Tarom experimental environments had good differentiation ability. The GT biplot for genotype data explained 61% of total variation of the standardized data. GT biplot analysis showed positive relationship between yield and other traits number of pods per plant, Green pod yield, harvest index and Height of lowest pod, they are identified as important traits for yield improvement. Hence, these traits could be considered as key components during the selection process aiming towards the breeding of faba bean genotypes for high yield.

**Conclusion:** Finally, genotypes G9, G4 and G7 had the highest yield and yield stability as ideal genotype for introduction.

---

---

Cite this article: Sheikh, F., Nazari, H., Fanaii, H.R. 2022. Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean genotypes using the biplot method. *Crop Production Journal*, 15 (2), 117-136.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19563.2457

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## تجزیه گرافیکی روابط بین صفات و پایداری ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از روش بای‌پلات

فاطمه شیخ<sup>۱\*</sup>، حسین نظری<sup>۲</sup>، حمیدرضا فنائی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه: sheikhfatemeh@yahoo.com

۲. استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، رایانامه: nazary28@gmail.com

۳. دانشیار، بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: fanay52@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده <sup>۱</sup>
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> باقلا در سراسر جهان به‌عنوان یک منبع غنی از پروتئین قابل استفاده برای انسان و دام شناخته شده است. این گیاه با تثبیت بیولوژیک نیتروژن به پایداری سیستم‌های زراعی کمک می‌کند. هدف از این پژوهش مطالعه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (G×E) و تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار باقلا بود. علاوه بر این به منظور انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس چند صفت و تعیین روابط بین صفات از تجزیه گرافیکی ژنوتیپ × صفت (GT) نیز استفاده شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این تحقیق برای بررسی روابط میان صفات و ارزیابی پایداری لاین‌های امید بخش باقلا، ۹ لاین امیدبخش و رقم برکت، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان، زنجان (طارم) و زابل در دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۱۳۹۶-۱۳۹۷) بررسی شدند. ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین قبل از برداشت اندازه‌گیری شد. برداشت در مرحله رسیدگی کامل انجام و تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه در ده بوته به صورت تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. روش گرافیکی GGE-Biplot برای تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط استفاده شد. تعیین روابط بین صفات و شناسایی صفات مناسب برای انتخاب غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد با استفاده از روش گرافیکی GTbiplot انجام شد.
واژه‌های کلیدی: بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (GT) برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (GEI) ژنوتیپ ایده‌آل عملکرد دانه	<b>یافته‌ها:</b> تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا، با استفاده از روش GGE-Biplot در پنج محیط بررسی شد. بر اساس مدل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI)، ۹۵/۱ درصد از تغییرات اثر متقابل توجیه شد. بر اساس نمودار

<sup>۱</sup> این مقاله مستخرج از طرح ملی به شماره مصوب ۹۵۱۰۹۸-۲۲۹-۰۳-۵۷-۰۴ می‌باشد.

---

---

چند ضلعی، دو محیط کلان و ژنوتیپ‌های سازگار هر محیط تعیین شد، در گرگان و طارم لاین G9 و در زابل لاین G1 سازگار بودند. لاین‌های G9، G4، G7 و G1 به ترتیب با عملکرد ۳/۲۲، ۳/۰۶، ۲/۸۸ و ۲/۸۷ تن در هکتار بالاترین میانگین و پایداری عملکرد دانه را داشتند. بر اساس تجزیه و تحلیل GEI و GGE-Biplot، محیط آزمایشی طارم از قدرت تفکیک خوبی برخوردار بود. تجزیه و تحلیل گرافیکی GT رابطه مثبت بین عملکرد و تعداد غلاف در بوته، عملکرد غلاف سبز، شاخص برداشت و ارتفاع پایین‌ترین غلاف را نشان داد. از این‌رو، این صفات را می‌توان به‌عنوان صفات کلیدی در طول فرآیند انتخاب با هدف اصلاح ژنوتیپ‌های باقلا برای عملکرد بالا در نظر گرفت.

**نتیجه‌گیری:** ژنوتیپ‌های G9، G4 و G7 با دارا بودن عملکرد بالاتر و پایداری عملکرد به عنوان ارقام ایده‌آل باقلا جهت معرفی شناسایی شدند.

---

---

استناد: شیخ، ف.، نظری، ح.، فنائی، ح.ر. (۱۴۰۱). تجزیه گرافیکی روابط بین صفات و پایداری ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از روش بای‌پلات. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۲)، ۱۱۷-۱۳۶.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19563.2457



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

---

---

## مقدمه

باقلا (*Vicia faba L.*) متعلق به تیره بقولات بوده که دارای ژنوم  $2n=2x=12$  است. انواع بذریز و متوسط باقلا را Field bean و انواع بذریز آن را Broad bean می‌نامند (۱، ۲). باقلا یک محصول فصل سرد است، منشاء آن به خاورمیانه و دوران ما قبل تاریخ بازمی‌گردد (۳)، در برخی کشورها به عنوان منبع اصلی پروتئین برای تغذیه انسان و دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول زراعی به دلیل داشتن پروتئین زیاد، املاح معدنی، ویتامین و ترکیبات زیست‌فعال در دنیا حائز اهمیت است. باقلا یکی از توانمندترین تثبیت‌کننده‌های بیولوژیکی نیتروژن جوی است. همچنین، این محصول با ایجاد تنوع سیستم‌های کشت در کاهش بیماری‌ها، تجمع آفات و علف‌های هرز بسیار کارآمد است (۲، ۳، ۴، ۵، ۶). بر پایه گزارش فائو، گیاه باقلا از نظر اهمیت به ترتیب بعد از لوبیا، نخود فرنگی و نخود چهارمین رتبه را در بین حبوبات، از نظر سطح زیر کشت دارا می‌باشد (۷). به طور کلی، در حدود ۲/۱ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا باقلا کشت می‌شود و تولید آن در جهان بالغ بر ۴/۱ میلیون تن با عملکردی بین ۶-۱ تن در هکتار است (۳، ۷).

این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی ایران است و عمدتاً در استان‌های خوزستان، لرستان، اصفهان، کاشان، گلستان و مازندران کشت می‌شود (۶، ۸)، باقلا از حبوبات با ارزش غذایی بالا است و در تناوب، الگوی کشت و سبد غذایی خانوار جایگاه ویژه‌ای دارد (۸). سطح زیر کشت باقلا در شهرستان زنجان (طارم) ۲۰۰۰ هکتار است. با توجه به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، طول فصل رشد کوتاه، قابلیت شکستن سبکل بیماری‌ها و اصلاح ساختمان خاک، باقلا یکی از بهترین گزینه‌ها در تناوب با برنج در منطقه است. معرفی ارقام دانه درشت، زودرس و

مقاوم به بیماری‌های الویت‌های اصلی برنامه‌های اصلاح باقلا در منطقه طارم محسوب می‌شود (۶). در استان سیستان و بلوچستان نیز کشت حبوبات پاییزه سابقه‌ای طولانی دارد. این استان شرایط اقلیمی و آب و هوایی مناسبی جهت تولید باقلا سبز نوبرانه دارد. بنابراین، تولید باقلا در این منطقه به کشاورزی پایدار و اقتصاد کشاورزان کمک خواهد کرد. از سوی دیگر، معرفی ارقام مناسب و سازگار با شرایط محیطی کشاورزان را به کشت این محصول ترغیب و به بهبود الگوی کشت منطقه کمک خواهد کرد. لاین‌ها و ژنوتیپ‌های متنوع باقلا با وزن صد دانه بالا و دارای عملکرد ایده‌آل در کلکسیون باقلا کشور موجود می‌باشد. از طرفی دیگر، توده‌های محلی مختلف و زیادی از باقلا در کشور وجود دارند، به مرور زمان برخی از آن‌ها به علت الویت ذائقه، میزان محصول و تطابق با اقلیم و عملیات کشاورزی به سایر ارقام برتری یافتند، این ژنوتیپ‌ها یک منبع ارزشمند و متنوع ژنتیکی هستند (۶، ۸)، در سال‌های اخیر، تعداد کمی از ژنوتیپ‌های باقلا در کشور آزاد شدند (۶). دست‌یابی به ارقام با عملکرد زیاد و دامنه سازگاری وسیع مهم‌ترین هدف اصلاح‌گران می‌باشد که البته برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط دست‌یابی به این مهم را دشوار می‌سازد. برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف در مقابل تغییرات شرایط محیطی است، وجود این برهم‌کنش منجر به کاهش بازدهی روش‌های اصلاحی و مانع توسعه ارقام زراعی در عرصه تولید می‌شود (۸، ۱۰). بنابراین، سازگاری انواع محصول با انجام آزمایشات چند محیطی (MET) بررسی می‌شود و این به درک ماهیت برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد زیاد در چند محیط و محیط‌های دارای قدرت تمایز در اصلاح گیاهان زراعی کمک خواهد کرد (۱۱، ۱۲ و ۱۳).

## 1. Multi environment trials

بر مطالعه برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط (GE)، از روش گرافیکی بای‌پلات می‌توان برای ارزیابی ارقام بر اساس یک یا مجموعه‌ای از صفات، گزینش غیر مستقیم برای عملکرد و روابط متقابل بین صفات استفاده کرد (۲۷). بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT)، برای تعیین رابطه بین صفات و ژنوتیپ در سویا (۱۲)، کلزا (۲۸، ۲۹)، ذرت (۳۰، ۳۱)، اسفناج (۳۲)، لوبیا (۱۰)، عدس (۳۳)، گندم (۳۴) و لوبیا سبز (۳۵) استفاده شده است. کک و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی رابطه‌های متقابل میان صفات، همچنین ارزیابی، مقایسه و انتخاب رقم‌های باقلا از لحاظ چند صفت از روش فوق استفاده کردند (۲۶). هدف از این مطالعه بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط در ژنوتیپ‌های باقلا و ارزیابی روابط بین صفات مورد با استفاده از روش گرافیکی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT) بود.

### مواد و روش‌ها

جهت مطالعه و بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های باقلا، ۹ لاین امیدبخش باقلا به‌همراه رقم شاهد برکت (جدول ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان، زنجان (طارم) و زابل (جدول ۱)، به مدت دو سال طی سال‌های زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۵) ارزیابی شدند. مساحت هر کرت  $14/4$  مترمربع بود و کشت بذرها در شش خط چهار متری، با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی خط ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. آماده‌سازی زمین با استفاده از شخم عمیق و دو مرحله دیسک صورت گرفت. کوددهی بر اساس آزمون خاک و وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان کشت باقلا به صورت دیم و در ایستگاه‌های زنجان (طارم) و زابل بر حسب نیاز و مشابه شرایط زارعین ۷-۳ بار آبیاری انجام شد. در طول

روش GGE-Biplot نه تنها برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط را در نظر می‌گیرد، بلکه از اثر اصلی ژنوتیپ نیز استفاده می‌کند، این روش با رسم نمودارهای دو بعدی کار تفسیر نتایج را نیز تسهیل می‌نماید و روش ایده‌آلی جهت انجام تجزیه پایداری است (۸، ۱۱، ۱۲). از این روش برای تعیین پایداری گندم نان (۱۴)، کلزا (۱۵)، ذرت (۱۶)، آفتابگردان (۱۷)، پنبه (۱۸)، بادام زمینی (۱۹)، لوبیا (۲۰، ۲۱)، برنج (۲۲)، نخود (۲۳) و جو (۲۴) استفاده شده است. با توجه به تغییرات زیاد خصوصیات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط باقلا حائز اهمیت بوده (۲۵، ۲۶) و ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از روش GGE-Biplot در مطالعات مختلف انجام شده است (۸، ۲۶). هیل و کبد (۲۰۲۱) نیز با استفاده از این روش گرافیکی دو لاین EH 010002-1 و EH 010051-1 را به‌عنوان لاین‌های پایدار باقلا انتخاب کردند (۱۰). گرومو و همکاران (۲۰۱۲)، پس از بررسی سازگاری ۱۶ لاین باقلا در ۸ محیط در جنوب سودان با استفاده از روش GGE-Biplot اظهار داشتند، لاین EH00102-5 (G11) دارای سازگاری خصوصی در محیط آگاندا و لاین‌های EH98086-2 (G3)، EH00099-1 (G5) و EH98145-1 (G12) دارای سازگاری عمومی هستند (۲۵).

در باقلا نیز مانند سایر گیاهان زراعی عملکرد دانه یک جزء پیچیده است و به ترکیبی از صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی وابسته است، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و شاخص برداشت مهم‌ترین صفاتی هستند که با عملکرد دانه به‌طور مستقیم و غیر مستقیم در ارتباط هستند (۲۶). ترکیبی از این صفات عملکرد دانه را بهبود می‌بخشند، علاوه

ژنوتیپ  $\times$  محیط و برای ارزیابی روابط بین صفات از داده‌های دو طرفه ژنوتیپ  $\times$  صفت استفاده شد. تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، با استفاده از مدل آماری زیر انجام شد (۳۳):

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

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

رابطه بین صفات و ژنوتیپ‌های مختلف با استفاده از نمودار دو وجهی GT Biplot بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم مورد مطالعه قرار گرفت، مدل آماری برای روش GE بای‌پلات به صورت زیر بود (۲۹، ۳۱، ۳۳، ۳۵، ۳۷):

دوره رشد از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار جهت کنترل شته سیاه باقلا استفاده شد. در طول فصل رشد و نیز در هنگام رسیدگی محصول، یادداشت‌برداری صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه انجام شد. پس از رسیدن محصول، برداشت از مساحت  $7/2$  مترمربع از هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه انجام گرفت و عملکرد دانه و وزن صد دانه بر مبنای رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. تجزیه مرکب داده‌ها با فرض تصادفی بودن سال و مکان و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی آزمون بارلت انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین صفات با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد (۳۶). برای رسم نمودارها و تجزیه بای‌پلات از نرم‌افزار GGE Biplot V6.3 استفاده شد. برای رسم نمودارهای بای‌پلات مربوط به پایداری ژنوتیپ‌ها، از میانگین عملکرد دانه در داده‌های دو طرفه

جدول ۱- متوسط بارندگی سالیانه، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط‌های محل آزمایش.

Table 1. Annual rainfall mean, above mean sea level and environmental code.

Location	مکان	ارتفاع (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	میانگین بارندگی سال زراعی ۹۵-۹۶ (میلی‌متر) 2017 Mean annual rainfall (mm)	میانگین بارندگی سال زراعی ۹۶-۹۷ (میلی‌متر) 2018 Mean annual rainfall (mm)	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) Average annual temperature (°C)	کد محیط‌ها Environment code	
								۱۳۹۶-۱۳۹۵	۱۳۹۶-۱۳۹۷
Zanjan	*زنجان	510	37° N	48°46' E	296	324	17.8	ZN2017	ZN2018
Gorgan	گرگان	5	36°54' N	54°25' E	495	338	19	GR2017	GR2018
Zabol	زابل	489	31°0' N	61°33' E	61	-	23.35	ZBL2017	-

\* منظور از زنجان، شهرستان طارم است، کشت باقلا در تناوب با اراضی شالیزاری در این منطقه رواج دارد.

جدول ۲- شماره، منشاء و شجره ژنوتیپ‌های باقلا.

Table 1- Code, origin and pedigree of faba bean genotypes.

شماره ژنوتیپ Genotype No.	کد code	نام/شجره Name /Pedigree	منشاء Origin
G1	G-Faba-5	Saraziri	Iran
G2	G-Faba-22	Luzde Otono	Spain
G3	G-Faba-95	WRB 1-3	ICARDA
G4	G-Faba-1-2	ILB1266×ILB1814	ICARDA
G5	G-Faba-1-1	ILB3621	ICARDA
G6	G-Faba-16	ILB 3554	ICARDA
G7	G-Faba-11	ILB 1814	ICARDA
G8	G-Faba-331	Sevil Giant	ICARDA
G9	G-Faba-133	line F6 latt/338/08	ICARDA
G10	G-Faba-20	Barekat	Iran

شد. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش این دو برای کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. عمار و همکاران (۳۸) با بررسی صفات مرفولوژیکی ۴۰ ژنوتیپ باقلا تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مختلف گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر، ۲۵ ژنوتیپ باقلا به مدت سه سال زراعی جهت بررسی الگوی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و صفات زراعی دیگر مورد بررسی قرار گرفتند، بیش‌ترین ضریب تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه، وزن صد دانه و تعداد دانه در بوته مشاهده شد (۳۹). نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۴ ارائه شده است. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی لاین‌های G2 و G5 کم‌ترین تعداد روز تا گلدهی و کم‌ترین تعداد روز تا رسیدگی را به خود اختصاص دادند. زمان رسیدگی بر روی عملکرد دانه تأثیری ندارد، بلکه زودرسی فرصتی برای کشت به موقع محصول دوم فراهم می‌کند (۳۸)، (۳۹). ژنوتیپ‌های G1 و G10 بالاترین ارتفاع بوته را داشتند. بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف در لاین‌های

$$\frac{T_{ij} - \bar{T}_j}{S_j} = \lambda_1 \xi_{i1} \tau_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \tau_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

که در این رابطه  $T_{ij}$ : میانگین صفت  $i$  برای صفت  $j$ ،  $\bar{T}_j$ : میانگین صفت  $j$  روی همه میانگین‌ها،  $S_j$ : انحراف معیار صفت  $j$ ،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ : به ترتیب مقادیر منفرد مولفه‌های اصلی اول و دوم،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$ : به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای ژنوتیپ  $i$ ،  $\tau_{j1}$  و  $\tau_{j2}$ : به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای صفت  $j$  و  $\varepsilon_{ij}$ : باقی‌مانده مربوط به مدل ژنوتیپ  $i$  و صفت  $j$  را نشان می‌دهد (۳۲، ۳۳، ۳۴).

### نتایج و بحث

آزمون بارتلت به منظور تأیید یکنواختی واریانس خطای آزمایشی انجام شد. با توجه به اینکه آماره کای‌دو ( $X^2 = 0.125$ ) آزمایش با درجه آزادی ۴ از مقدار جدول در سطح احتمال یک درصد کوچک‌تر بود، لذا فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی رد نشد. نتایج تجزیه واریانس مرکب بر اساس داده‌های پنج محیط برای صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد غلاف سبز، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت در جدول ۳ آورده



بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان تشکیل غلاف منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و در نتیجه افت عملکرد شد (۳ و ۴). در مطالعه حاضر با توجه به معنی دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و تأیید آن بر اساس میانگین عملکرد دانه متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف (دامنه تغییرات عملکرد ۳/۷۲-۱/۱۱ تن در هکتار) (جدول ۵)، به منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره GGE- Biplot استفاده شد.

نتایج حاصل از تجزیه GGE-Biplot، نشان داد که مولفه اصلی اول (۸۸/۷ درصد) و مولفه اصلی دوم (۶/۲ درصد) در مجموع ۹۴/۹ درصد از واریانس برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند (شکل ۱). با بررسی نمودار چندضلعی (Polygon) دو محیط کلان مشخص شدند، محیط کلان اول شامل محیط GRGN2017 (گرگان ۱۳۹۶-۱۳۹۷)، GRGN2018 (گرگان ۱۳۹۶-۱۳۹۷)، محیط ZNJN2017 (زنجان طارم ۱۳۹۶-۱۳۹۷) و ZNJN2018 (زنجان طارم ۱۳۹۶-۱۳۹۷) بود، ژنوتیپ G9، ژنوتیپ برتر این محیط بود (شکل ۱). محیط دوم شامل ZBL2017 بود و ژنوتیپ G1 به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط شناسایی شد. ارقام لوزدی‌اتونو و برکت در رأس قرار داشتند و در هیچ یک از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عملکرد کم این ژنوتیپ در تمامی محیط‌ها می‌باشد. فلورز و همکاران (۲۰۱۶) 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 (۵).

G9 و G3، بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته در لاین‌های G10 و G8 مشاهده شد. بالاترین عملکرد غلاف سبز، عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در لاین‌های G9 و G4 مشاهده شد. ژنوتیپ G4 با ۱۷۶/۶۷ گرم بیش‌ترین وزن صد دانه را به خود اختصاص داد. همچنین، بالاترین شاخص برداشت به مقدار ۵۲/۳۸ و ۵۱/۹۱ درصد به‌ترتیب در لاین‌های G2 و G9 مشاهده شد (جدول ۴).

معنی دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط نیز نشان‌دهنده بیان متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های مختلف است (جدول ۵). در مطالعه حاضر نیز تنوع اقلیمی، میزان بارندگی، ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیای ایستگاه‌ها، دلیل اختلاف عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف شده‌است (جدول ۱). کارداوت و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه بر روی شش رقم و لاین باقلا در شش مکان و دو سال، برهم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط را مشاهده کردند (۴۰). در تطابق با مطالعه حاضر فیکر و همکاران (۲۰۰۸)، سرپرست و همکاران (۲۰۱۱) و شیخ و همکاران (۲۰۲۱) وجود اثر معنی‌دار محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش این دو را برای عملکرد دانه در باقلا گزارش کردند (۴، ۸ و ۹). در ایستگاه گرگان در سال اول و در ایستگاه زنجان (طارم) در سال دوم بارندگی بیش‌تر بود، این موضوع سبب افزایش عملکرد در سال‌های پر باران در این دو ایستگاه شد (جدول ۱). در ایستگاه زابل با توجه به انجام آبیاری در مواقع لزوم، میزان عملکرد به بارندگی وابسته نبود. در این ایستگاه تنش‌های دمایی نقش مهمی در تعیین اجزای عملکرد داشتند. به همین دلیل، ژنوتیپ‌های زودرس‌تر پاسخ بهتری نسبت به این شرایط نشان دادند. دمای

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب بر اساس داده‌های چند سال و چند مکان برای صفات فنولوژیکی و مورفولوژیکی در زوتیپ های گیاه باقالا.  
Table 3- The results of combined analysis of variance based on multi-year and multi-location data for morphological and agronomical traits in faba bean genotypes.

منابع تغییر S.O.V	df	روز تا گلدهی Day to flowering	روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین Height of lowest pod	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	عملکرد زیست توده Biomass	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
محیط (E)	4	9255.89**	4433.80**	565.53**	22956.02**	297.82**	2.42**	2590.86**	448.24**	31.93**	10.96**	371.79**
تکرار (محیط)	10	0.86	1.79	0.83	55.21	0.52	0.03	99.05	0.83	0.30	0.02	25.98
ژنوتیپ (G)	9	80.84**	146.07**	182.62**	130.49**	294.42**	4.22**	5854.45**	38.15**	3.15**	0.65**	52.85**
G × E	36	32.04**	8.17**	16.12**	169.69**	20.34**	0.43**	267.73**	16.95**	1.47**	0.03**	17.98**
خطای آزمایش	90	1.93	1.86	1.88	21.85	0.95	0.024	111.03	0.81	0.094	0.01	4.21
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.52	0.74	8.00	5.70	6.37	4.41	7.75	4.70	5.36	4.53	4.15

ns, \*, \*\*, \*\*\* Non significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

ns, \*, \*\*, \*\*\* Non significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

ns, \*, \*\*, \*\*\* Non significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۴ - مقایسه میانگین ژنوتیپ های مورد مطالعه گیاه باقلا از نظر صفات مورفولوژیک و زراعی در محیط های مورد بررسی.  
Table 4- Mean comparison of studied faba bean genotypes in terms of morphological and agronomical traits across testing environments.

ژنوتیپ Genotype	روز تا گلدهی Day to flowering	روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع اولین گلخانه از سطح زمین (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد غلاف سبز (تن در هکتار) Green pod yield(t ha <sup>-1</sup> )	عملکرد زیست توده (تن در هکتار) Biomass (t ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (t ha <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
G1	90.93	181.53	10.47	18.42	2.88	136.47	19.66	6.11	2.89	47.08
G2	87.80	178.67	16.88	14.52	3.47	136.48	18.07	5.15	2.69	52.38
G3	96.07	186.93	20.61	20.03	3.27	106.87	19.24	5.54	2.78	49.52
G4	92.93	189.33	21.95	14.47	2.99	176.67	21.28	6.16	3.07	48.82
G5	88.80	181.00	15.41	10.65	4.33	145.92	19.47	5.30	2.68	51.19
G6	90.73	185.07	16.00	13.45	3.68	142.27	18.35	5.84	2.82	48.35
G7	89.73	184.87	16.53	13.69	3.61	145.69	18.98	6.00	2.88	47.86
G8	91.33	183.07	16.51	14.10	3.74	120.99	17.87	5.97	2.81	47.37
G9	90.67	185.87	21.75	24.45	3.04	112.51	22.22	6.20	3.22	51.91
G10	92.53	185.00	15.29	9.77	4.43	135.08	16.89	4.92	2.47	49.38
میانگین Mean	91.15	184.13	17.14	15.35	3.54	135.89	19.20	5.72	2.83	49.38
حداقل اختلاف معنی دار LSD	1.00	0.98	0.99	0.71	0.11	7.64	0.66	0.22	0.09	1.48

جدول ۵- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار) ژنوتیپ‌های باقلا در هر کدام از محیط‌ها.

Table 5- Analysis of variance and mean comparison of grain yield ( $t\ ha^{-1}$ ) of faba bean genotypes in each of environments.

منابع تغییر S.O.V	محیط اول	محیط دوم	محیط سوم	محیط چهارم	محیط پنجم
	Environment1 (E1)	Environment2 (E2)	Environment3 (E3)	Environment4 (E4)	Environment5 (E5)
میانگین مربعات بلوک MSR	0.018 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>
میانگین مربعات ژنوتیپ MSG	0.47**	0.44**	0.79**	0.22**	0.07**
میانگین مربعات خطا MSE	0.029	0.015	0.009	0.015	0.011
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	3.34	4.43	5.46	4.03	3.43
شماره ژنوتیپ Genotype no.					
G1	2.91	2.76	2.79	2.94	3.03
G2	2.33	2.42	2.15	3.31	3.22
G3	3.00	3.32	1.21	3.02	3.37
G4	3.38	3.61	1.57	3.28	3.50
G5	2.99	2.97	1.34	3.00	3.08
G6	2.70	2.91	2.24	3.07	3.18
G7	3.23	3.06	1.70	3.15	3.24
G8	2.88	2.99	1.87	2.96	3.33
G9	3.56	3.72	1.69	3.65	3.49
G10	2.38	3.02	1.12	2.62	3.21
میانگین Mean	2.93	3.08	1.77	3.10	3.27

بعد از G9 قرار گرفتند (شکل ۲). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های G4، G9 و G7 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 به عنوان والد در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود هم‌زمان سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا مورد استفاده قرار خواهند گرفت. ژنوتیپ‌های G5، G8، G3 و G1 در رتبه سوم و ژنوتیپ‌های G2 و G10 (رقم برکت) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. فایری و همکاران (۲۰۱۹) از روش GGE-Biplot برای مقایسه ارقام لوبیا سفید با رقم ایده‌آل استفاده کردند (۲۲).

بر اساس مدل GGE (G + GEI) در تجزیه بای پلات نیز ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا مشخص شدند (شکل ۲). برای تعیین ژنوتیپ ایده‌آل دو معیار پایداری و عملکرد بالا مد نظر است. بنابراین، ژنوتیپی ایده‌آل است که دارای حداکثر عملکرد و پایداری باشد، ژنوتیپی که در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارد، ژنوتیپی است که در همه محیط‌ها بالاترین عملکرد را دارد و مطلقاً پایدار است (۱۲). ژنوتیپ G9 در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار داشت و ژنوتیپ ایده‌آل محسوب می‌شود، هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را به ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد، در رتبه‌های بعدی مطلوبیت قرار دارد (۱۲، ۳۳)، ژنوتیپ‌های G4 و G7 در فاصله کم‌تری از ژنوتیپ ایده‌آل و در رتبه

تمایز و قدرت نمایندگی بیش‌تری دارند. در این بررسی محیط ZN2017، بلندترین طول بردار و کم‌ترین فاصله با محیط ایده‌ال را داشت. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، نتایج آزمایش قابل اعتماد نخواهند بود.

از نمودار (Average Tester Coordinate) ATC جهت بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد استفاده می‌شود (شکل ۴). در این نمودار محیط متوسط با یک دایره کوچک نشان داده شده است، که با استفاده از میانگین مولفه‌های اول و دوم تعریف می‌شود. محور افقی نشان‌دهنده عملکرد ژنوتیپ‌ها و محور عمودی برآوردی از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط هر ژنوتیپ است (۲۳، ۳۰). فاصله کم‌تر از محور افقی نشانگر پایداری ژنوتیپ است (۲۷)، پس از بررسی شکل ۴ می‌توان گفت ژنوتیپ‌های G9 و G4 بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌های G10 و G2 کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 به دلیل اینکه تقریباً روی محور افقی قرار گرفته‌اند، دارای کم‌ترین طول تصویر روی محور عمودی هستند و بیش‌ترین پایداری را دارند. اگر عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی منجر به ایجاد برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط باشند، الگوهای پیش‌بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال‌ها تکرار پذیر نخواهد بود. بنابراین، بایستی با انتخاب ژنوتیپ پایدار و با عملکرد زیاد، حداکثر تولید را داشت.

ترسیم نمودار دوجهی ژنوتیپ × صفت (GT) ۶۱/۱ درصد (۴۳/۵ درصد و ۱۷/۶ درصد به‌ترتیب توسط مولفه اصلی اول و مولفه اصلی دوم)، از کل تنوع داده‌های استاندارد شده را توجیه کرد (شکل ۵). این درصد نسبتاً متوسط نشان‌دهنده پیچیدگی روابط بین صفات مورد بررسی می‌باشد (۱۲). در میان روش‌های متعدد برای ترسیم بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (GT)، نمای چند ضلعی کمک می‌کند که

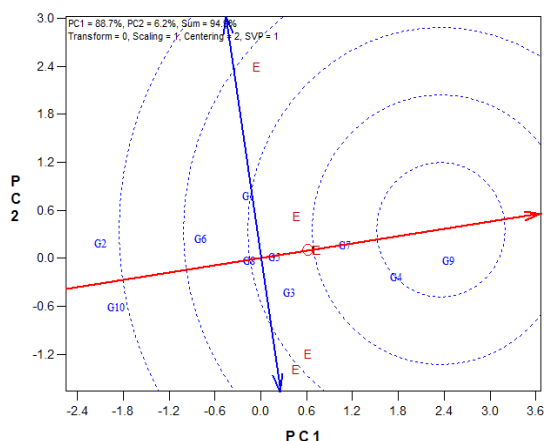
برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های مورد بررسی از نموداری استفاده می‌شود که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ وصل می‌شوند (شکل ۳). کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آن‌ها را نشان می‌دهد (۲۳). بنابراین، زاویه کوچک‌تر بین دو بردار به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها 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 (۱۲). در این بررسی بین محیط‌های ZN2017 و ZN2018 همبستگی بالایی وجود دارد، این دو محیط بیش‌ترین قدرت تمایز را دارند و بعد از آن محیط‌های GRGN2017 و GRGN2018 قرار دارند. بلندترین طول بردار به محیط ZN2017 تعلق داشت. محیط دارای طول بردار کوتاه و قدرت تمایز کم‌تر اطلاعاتی درباره ژنوتیپ‌های مورد بررسی نمی‌دهد. بنابراین، این محیط آزمایش بی‌نتیجه خواهد بود. بررسی همبستگی بین محیط‌ها و پیدا کردن محیط‌های نزدیک به هم به صرفه‌جویی در وقت و هزینه و اجرای آزمایش در تعداد مکان کم‌تر کمک می‌کند (۲۲). طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد و این انحراف معیار توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (۲۱ و ۲۲). هیل و کبد (۲۰۲۱) نیز در آزمایشی پایداری عملکرد ۱۲ لاین باقلا را در ۷ محیط ارزیابی و محیط‌ها را از لحاظ قدرت تمایز گروه‌بندی کردند (۱۰).

در شکل ۳ 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

برآورد می‌کند. اگر زاویه بین بردارهای دو صفت کم‌تر از ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی مثبت، اگر زاویه بیش‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی منفی و اگر زاویه ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی وجود ندارد. این شکل بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است. طول بردارها پاسخ‌دهی صفات را به ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد، به طوری که هرچه طول بردار یک صفت بیش‌تر باشد نشان‌دهنده آن است که آن صفت دارای قدرت پاسخ‌دهی بیش‌تر به ژنوتیپ‌ها می‌باشد و صفاتی که در منشأ بای‌پلات قرار می‌گیرند، هیچ پاسخی به ژنوتیپ‌ها نمی‌دهند (۲۸، ۲۹، ۳۷)، بر اساس طول بردارها نیز میزان تاثیر مثبت یا منفی صفات نشان داده می‌شود (۲۱، ۲۶). شکل ۶ نشان می‌دهد، بین عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، زیست توده و ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین همبستگی مثبت وجود داشت، اگر یک یا دو صفت به جای همه این صفات استفاده شود اطلاعات مشابهی به ما می‌دهد و در زمان و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد (۴۲). عملکرد دانه با وزن صد دانه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه هیچ رابطه‌ای نداشت، بین تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته همبستگی منفی مشاهده شد، ژنوتیپ‌هایی با غلاف بلند اغلب تعداد دانه در غلاف کم‌تری دارند. همبستگی مثبت بین وزن صد دانه و تعداد دانه در غلاف مشاهده شد که می‌تواند ناشی از افزایش طول غلاف در ژنوتیپ‌های دانه درشت باقلا باشد (۳۸، ۳۹). کچ و همکاران (۲۰۱۸)، نیز پس از بررسی رابطه بین صفات مختلف در باقلا با استفاده از روش GT-Biplot، اظهار داشتند ارتفاع بوته و وزن صد دانه بیش‌ترین ارتباط را با عملکرد دانه دارند و برای انتخاب غیر مستقیم برای افزایش عملکرد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۲۶).

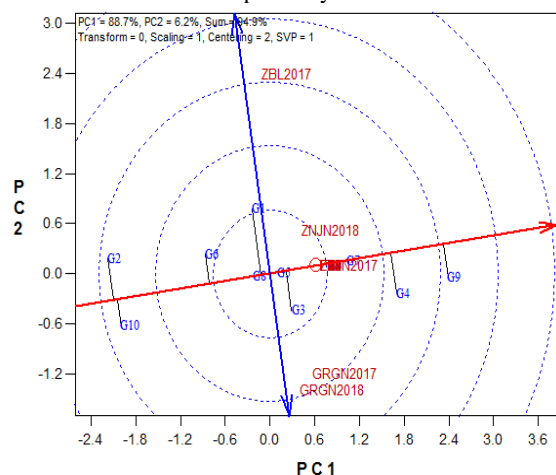
ژنوتیپ‌های دارای بالاترین مقدار برای یک صفت یا بیش‌تر صفات، تشخیص داده شوند. در نمودار چند ضلعی (Polygon) ژنوتیپ‌ها در رئوس چند ضلعی یا در داخل چند ضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های رأس چند ضلعی بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفاتی هستند که در این بخش محصور شده‌اند (۲۷). این روش بهترین راه برای تجسم و تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات را مهیا می‌کند. ژنوتیپ‌های G2، G3، G4، G9، G5 و G10 در رئوس چند ضلعی قرار گرفته‌اند (شکل ۵). صفات عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه، زیست توده، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین و تعداد غلاف در بوته در بخش مربوط به ژنوتیپ G9 واقع شدند، که نشان‌دهنده برتری این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برای صفات فوق می‌باشد (شکل ۵). با توجه به اینکه روش GT-Biplot ابزار قدرتمندی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است، بنابراین، از لاین‌های برتر می‌توان به طور مستقیم برای معرفی رقم تجاری و یا به عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد (۲۶). بیش‌ترین شاخص برداشت به ژنوتیپ‌های G2 و G5 تعلق داشت. بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف به ژنوتیپ G10 و بیش‌ترین ارتفاع بوته به ژنوتیپ G3 اختصاص یافت (شکل ۵). ژنوتیپ نزدیک به مبدأ بای‌پلات سطح متوسطی از تمام صفات را داراست (۴۱). در این بررسی به ترتیب ژنوتیپ‌های G6، G7، G8 و G1 دارای مطلوبیت متوسط برای صفات مورد بررسی بودند.

شکل ۶، نمایش برداری GGE-Biplot است که به درک روابط بین صفات و ارزیابی ژنوتیپ‌ها کمک می‌کند، بردارهایی از مبدأ بای‌پلات سرچشمه می‌گیرند، به علایم صفات وصل می‌شوند. طول این بردار نشان‌دهنده انحراف معیار هر صفت است (۲۶). کسینوس زاویه بین دو صفت همبستگی بین آن‌ها را



شکل ۲- بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

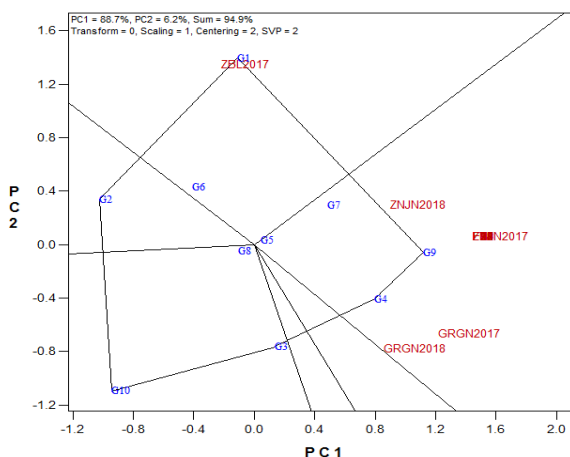
Figure 2- Ideal genotype view of genotype  $\times$  traits biplot of measured traits, The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.



شکل ۴- نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از بای پلات GGE بر اساس داده‌های عملکرد دانه، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

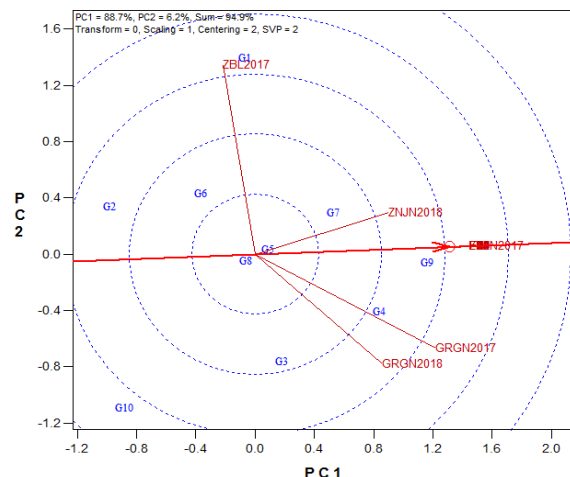
Figure 4- Average tester coordinate (ATC) view of the GGE-Biplot based on grain yield data, The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

گرفته‌اند از نظر صفات واقع در آن بخش دارای مقادیر متوسط به بالا هستند. با توجه به نمودار ۷ ملاحظه می‌شود، ژنوتیپ‌های G1، G3، G4، G9 از لحاظ عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در سطح بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها هستند. در سمت چپ نمودار ژنوتیپ‌های G2، G5، G6، G8 و G10 به همراه



شکل ۱- نمای چندضلعی GGE-Biplot بر اساس داده‌های عملکرد دانه، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

Figure 1- Polygon view of the GGE-Biplot based on grain yield data, The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

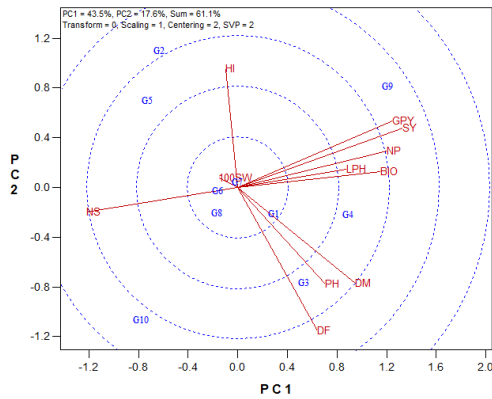


شکل ۳- بای پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

Figure 3- Correlation between environment based on ideal genotypes, The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها با تعریف محور مختصات میانگین تستر (ATC) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵)، ژنوتیپی ایده‌آل و برتر است که ترکیبی از صفات خوب و کم‌ترین فاصله را با دایره مرکزی در این نمودار داشته باشند (۳۲، ۳۳ و ۴۳). محور قائم ATC، محور افقی را به دو بخش تقسیم می‌کند، ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست قرار

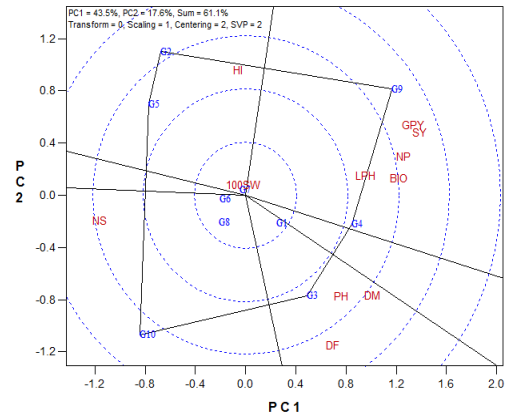
شاهد در آزمایشات بعدی قرار گیرد. در این بررسی ژنوتیپ G9 و پس از آن ژنوتیپ G4، نزدیکترین ژنوتیپ به موقعیت رقم ایده‌ال هستند (شکل ۷).



شکل ۶- بای پلات برای نشان دادن روابط بین صفات.

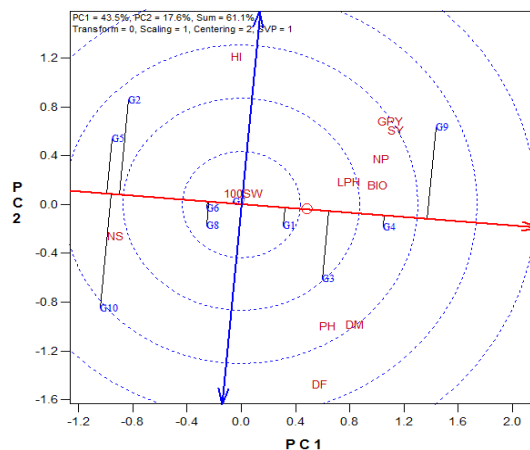
Figure 6- Vector biplot for indicating genotypes relationship.

صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف قرار دارند، بهترین ژنوتیپ، کم‌ترین فاصله نسبت به دایره روی محور را دارد و می‌تواند به عنوان رقم ایده‌ال یا



شکل ۵- نمایش چندضلعی بای پلات ژنوتیپ‌های باقلا.

Figure 5- Polygon view of GT biplot showing which genotypes had the highest values for which traits.



شکل ۷- رتبه‌بندی ده ژنوتیپ باقلا بر اساس صفات مورد مطالعه.

Figure 7- Ranking of 10 faba bean genotypes due to studied traits.

مؤلفه به عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. با توجه به خصوصیات برجسته‌ای هم‌چون عملکرد بالا، دامنه سازگاری وسیع و مقاومت به بیماری ژنوتیپ (line F6 latt/338/08) G9 با نام رقم شادان به عنوان اولین رقم دو منظوره و قابل برداشت مکانیزه باقلا در کشور معرفی شد (۶). با توجه به نتایج تجزیه کیفی و نتایج بررسی اولیه استفاده از رقم شادان در جیره طیور می‌توان این رقم را تا ۲۰ درصد جایگزین کنجاله سویا و دانه ذرت نمود. ژنوتیپ G1 (رقم سرازیری)

### نتیجه‌گیری کلی

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 به منظور افزایش عملکرد این محصول استفاده شود. بر اساس مدل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و تجزیه GGE-Biplot، بیش از ۹۴/۹ درصد از تغییرات اثر متقابل توسط دو مؤلفه اول توجیه گردید و ژنوتیپ G9 با دارا بودن کم‌ترین اثر متقابل در هر دو



باقلا بهره‌مند شد.

### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح ملی به شماره مصوب ۰۴-۵۷-۰۳-۲۲۹-۹۵۱۰۹۸ می‌باشد. بدین وسیله از همکاری صمیمانه مراکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان‌های گلستان، زنجان، سیستان و بلوچستان و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع

1. Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J.A., Vagen, I.M., Rewald, B., Alsiña, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, I., Rosa, E. and Savvas, D. 2018. Faba bean cultivation – revealing Novel Managing Practices for More Sustainable and Competitive European Cropping Systems. *Front. Plant Sci.* 9: 11-15.
2. Katerj, N., Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastroilli, M. and Oweis, T. 2009. Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties I. Chickpea and faba bean. *Agric. Water Manag.* 72: 177-194.
3. Etemadi, F., Hashemi, M., Barker, A.V., Zandvakili, O.R. and Xiaobing, L. 2019. Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Hortic. Plant J.* 5: 170-182.
4. Fikere, M., Tadesse, T. and Letta, T. 2008. Genotype - Environment Interactions and Stability Parameters for Grain Yield of faba bean (*Vicia faba* L.) Genotypes Grown in South Eastern Ethiopia. *Int. J. Sustain.* 3: 6. 80-87.
5. Flores, F., Hybl, M.J., Knudsen, C., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., Narits, B., Raffiot, O., Sass, I., Solis, J., Winkler, F., Stoddard, L. and Rubiales, D. 2013. Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Res.* 145: 1-9.

پس از خالص‌سازی به روش انتخاب دوره‌ای S1 از توده‌ای با همین نام که بومی استان خوزستان است، به‌دست آمده است. مقاومت به تنش خشکی و گرما از خصوصیات برجسته این رقم است (۶، ۸). در نهایت ژنوتیپ G9 (رقم شادان) و بعد از آن به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G4، G7 و G1 (سرازیری) به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه و پایداری بالایی شناسایی شدند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در گیاه

6. Sheikh, F. and Feyzbakhsh, M.T. 2019. Faba bean handbook. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian)
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. Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H. and Parkasi, A.R. 2021. Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *J. Crop Prod. Process.* 11: 3. 85-89. (In Persian)
9. Sarparast, R., Sheikh, F. and Sowghi, H.A. 2011. Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian J. Pulses Res.* 2: 99-106. (In Persian)
10. Haile, G.A. and Kebede, G.A. 2021. Identification of stable faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for seed yield in Ethiopia using GGE model. *J. Plant Dev.* 9: 4. 163-169.
11. Yan, W. and Hunt, L.A. 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data, P 289-303. In: M.S. Kang (ed). *Quantitative genetics, genomics and plant breeding.* CAB international, willing ford.
12. Yan, W. and Rajcan, I. 2002. Biplot Analysis of test sites and trait relations

- of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.
13. Zeleke, A.A. and Berhanu, F.A. 2016. AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. *J. Biol. Agric. Health.* 6: 9. 127-135.
  14. Akan, K. and Akcura, A. 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 Res. Commun.* 46: 2. 311-320.
  15. Pourdad, S.S. and Moghaddam, M.J. 2013b. Study on Genotype  $\times$  Environment Interaction through GGE Biplot for Seed Yield in Spring Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Rain-Fed Condition. *J. Crop Breed.* 5: 1-13.
  16. Botovic, D., Tivanovic, T., Popovic, V., Tatic, M., Gospavic, Z., Miloradovic, Z., Stankovic, G. and Đokic, M. 2018. Assessment stability of maize lines yield by GGE-biplot analysis. *Genetika.* 50: 3. 755-770.
  17. Pourdad, S.S. and Moghaddam, M.J. 2013a. Study on seed yield stability of sunflower inbred lines through GGE biplot. *Helia.* 36: 58. 19-28.
  18. Ali, I.N., Ullah Khan, F., Mohammad, M., Atif, A., Abbas, Z., Bibi, S., Ali, I., Amin, Sh. and Mehboob-ur, R. 2017. Genotype by environment and GGE-Biplot analyses for seed cotton yield in upland cotton. *Pak. J. Bot.* 49: 6. 2273-2283.
  19. Jahanzaib, M., Nawaz, N., Khurshid, H.S., Jan, A., Arshad, M. and Hassan, I. 2019. Estimating genotype  $\times$  environment interaction for groundnut seed yield across different ecological zones. *Int. J. Agric. Biol.* 22: 139-145.
  20. Hirpa, L., Nigussie, D., Setegn, G., Geremew, B. and Firew, M. 2013. Multivariate analysis as a tool for indirect selection of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) for soil acidity tolerance under field conditions. *J. Sci. Technol.* 2: 7-15.
  21. 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. *Afr. J. Agric. Res.* 14: 35. 2135-2145.
  22. Donoso-Nanculao, G., Paredes, M., Becerra, V., Arrepol, C. and Balzarini, C. 2018. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. *Chi. J. Agric. Res.* 76: 2. 152-157.
  23. Farshadfar, E. 2013. Simultaneous selection of yield and yield stability in chickpea genotypes using the GGE biplot technique. *Acta Agron. Hung.* 61: 185-194.
  24. Koocheki, A.R., Sorkhi Lalehloo, B. and Eslamzadeh Hesari, M.R. 2012. Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE biplot. *Seed Plant Improv. J.* 28: 1. 533-543. (In Persian)
  25. Gurmu, F., Lire, E., Asfaw, A., Alemayehu, F., Rezene, Y. and Ambachew, D. 2012. GGE-Biplot Analysis of Grain Yield of faba Bean Genotypes in Southern Ethiopia. *Electron. J. Plant Breed.* 3: 3. 898-907.
  26. Koc, S., Orak, A., Tenikecier, H.S. and Saglam, N. 2018. Relationship between seed yield and yield characteristics in faba bean (*Vicia faba* L.) by GGE-biplot analysis. *J. Life Sci.* 12: 105-110.
  27. Yan, W. and Kang, M.S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. 288P.
  28. Dehghani, H., Omidi, H. and Sabaghnia, N. 2008. Graphic analysis of trait relations of rapeseed using the biplot method. *J. Agron.* 100: 1443-1449.
  29. Hosseini, S.Z. 2016. Evaluation of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) genotypes, using biplot analysis. *J. Crop Breed.* 8: 192-202. (In Persian)
  30. Shiri, M.R. and Bahrampour, T. 2016. Genotype  $\times$  environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under

- different irrigation conditions. Cereal Res. 5: 83-94. (In Persian)
31. Shojaei, S.H., Mostafavi, Kh., Khosroshahli, M. and Bihamta, M.R. 2020. Assessment of genotype-trait interaction in maize (*Zea mays* L.) hybrids using GGT biplot analysis. Food Sci. Nutr. 8: 5340-5351.
32. Sabaghnia, N., Mohebodini, M. and Janmohammadi, M. 2016. Biplot analysis of trait relations of spinach (*Spinacia oleracea* L.) landraces. Genetika. 48: 2. 675-690.
33. Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H. 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. Agron. J. 100: 760-764. (In Persian)
34. Rahmati, M. 2020. Assessment of relationships among traits and selection of superior bread wheat genotypes using genotype by yield  $\times$  trait biplot method. Cereal Res. 10: 61-72. (In Persian)
35. Oliveira, T.R., Gravina, G.A., Ferreira de Oliveira, G.H., Cordeiro Araújo, K., Cordeiro de Araujo, L., Figueiredo Daher, R. and Vivas, M. 2018. The GT biplot analysis of green bean traits. Cienc. Nat. (St. Maria, Braz.). 48: 6. 1-6.
36. SAS Institute Inc. 2003. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
37. Motamedi, M. and Safari, P. 2019. Evaluation of Water Deficient Stress Tolerance in some Wheat Cultivars and Their hybrids using canonical discriminant analysis and genotype by trait biplot. J. Crop Breed. 29: 104-116. (In Persian)
38. Ammar, M.H.S., Alghamdi, S., Migdadi, A., Muhammad, H.M., Khan, M.H., El-Harty, E.H. and Al-Faifi, S.A. 2015. Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agromorphological and molecular markers. Saud J. Biol. Sci. 22: 340-350.
39. Chaubey, B.K., Yadav, C.B., Mishra, V.K. and Kumar, K. 2012. Genetic divergence analysis in faba bean (*Vicia faba* L.). Agric. Sci. Res. J. 5: 1. 64-67.
40. Karadavut, U., Palta, C., Kavurmaci, Z. and Bolek, Y. 2010. Some grain yield parameters of multi-environmental trials in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Int. J. Agric. Biol. 12: 217-220.
41. Yan, W. and Fregeau-Reid, J. 2008. Breeding line selection based on multiple traits. Crop Sci. 48: 417-423.
42. Okadejo, A.S., Akinwale, R.O. and Obisesan, I.O. 2011. Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. Afr. Crop Sci. J. 19: 3. 189-200.
43. Badu-Apraku, B. and Akinwale, R.O. 2011. Cultivar evaluation and trait analysis of tropical early maturing maize under Striga-infested and Striga-free environments. Field Crops Res. 121: 186-194.

