

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

Mohamad Taghi Feyzbakhsh^{1*}, Mohamad Shahverdi², Hamid Reza Ghorbani³, Ahmad Ali Shoshi⁴, Fatemeh sheikh¹, Vida ghotbi⁵

1. Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.,

2. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khoram Abad, Iran.,

3. Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran.,

4. Crop and Horticultural Science Research Department, Khozestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.,

5. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author Email: M.T.Feyzbakhsh@areeo.ac.ir

Abstract

Introduction: One of the strategies for increasing forage production with limited water resources is the cultivation of drought-tolerant autumn forage plants with high water use efficiency. The development of forage plant cultivation and their rotation with other plants, as well as the use of different forage plants, can play a fundamental role in providing the country's forage needs. faba beans (*Vicia faba L.*) produce a green, high-volume forage mass that is used for animal feed, and faba bean forage can be ensiled either alone or mixed with cereal crops. Good quality ensiled whole faba beans can be used as a high-energy, protein-rich forage for dairy cattle.

Materials and Methods: In this study, nine forage Faba bean genotypes, with low-tannin (Mehta) and high-tannin (Shadan), were studied. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in four regions (Gorgan, Dezful, Borujerd, and Qarakhail) for two years (2022-23 and 2023-24). Each plot consisted of four with six meters long. Row spacings was 50 centimeters and plant spacings on the rows were eight centimeters. In Gorgan and Qarakhail regions, irrigation was not done during the growth period due to adequate rainfall, but in Borujerd and Dezful, irrigation was done according to the plant's needs and at different phenological stages of the plant to provide soil moisture. At the harvesting stage, fresh forage yield was determined after removing the marginal lines and half a meter from the beginning and end of the two middle lines of each plot on a six-square-meter surface. Also, at the time of harvesting, one-kilogram samples of leaves, stems, and pods were taken from each plot and placed in an oven at a temperature of 65 degrees Celsius for 48 hours. When the dry weight of the samples became the same in two consecutive weighings, dry matter was recorded and dry matter yield was calculated according to the percentage of dry matter.

Results: The results of the combined analysis of variance showed that the main effects of genotype, environment, and genotype \times environment interaction on fresh and dry forage yield were significant at the 1% probability level. According to the GEI model for fresh forage, 32.9% and 22.1% of the total variations were described by the first and second component, respectively (totally 55%). Also, based on GEI and GGE-Biplot analysis, the experimental environments, Qarakhail and Dezful in 2024 had a greater ability to separate and differentiate between genotypes and were recognized as a suitable location for selecting suitable genotypes.

Conclusion: In the two years of the experiment, the highest fresh forage yield was obtained from the genotypes G3, G9, and G4, respectively, at 37542, 37427, and 36769 Kg/ha-1. Also, G9 genotype was considered to have the highest stability in terms of dry forage yield. Considering the appropriate fresh forage yield and the stability of dry forage yield, it is recommended to introduce this genotype the country.

Keywords: Genotype \times environment interaction, Ideal genotype, Mega environment, Yield stability

Received: 02-08-2025

Accepted: 12-11-2025

Citation: Feyzbakhsh, M. T., Shahverdi, M., Ghorbani, H. R., Shoshidezfuli, A. A., sheikh, F., & Ghotbi, V. (2026). Evaluation of genotype \times environment interaction on forage yield of faba bean (*Vicia Faba L.*) genotypes using GGE biplot method. *Plant Production and Genetics*, 7(1), 77-92. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.144153.1169>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا علوفه‌ای (*Vicia Faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات

محمد تقی فیض بخش^{۱*}، محمد شاهرودی^{۲*}، حمیدرضا قربانی^۳، احمدعلی شوشی دزفولی^۴، فاطمه شیخ^۱

ویدا قطبی^۵

۱. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۲. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۳. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۴. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

۵. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: M.T.Feyzbakhsh@areeo.ac.ir

چکیده

مقدمه: یکی از راهکارهای افزایش تولید علوفه با منابع محدود آب، کشت گیاهان علوفه‌ای پاییزه متحمل به خشکی با کارایی مصرف آب بالا می‌باشد. باقلا (*Vicia faba* L.)، توده علوفه‌ای سبز و پر حجم تولید کرده که برای تغذیه حیوانات مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین علوفه گیاه باقلا را می‌توان به‌طور خالص یا مخلوط با گیاهان خانواده غلات سیلو نمود. گیاه کامل باقلای سیلو شده با کیفیت خوب، می‌تواند به‌عنوان یک علوفه غنی از انرژی و پروتئین برای تغذیه دام‌های سنگین از جمله گاوهای شیری مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نه ژنوتیپ باقلا علوفه‌ای همراه با همراه ارقام شاهد کم‌تانن (مهتا) و دارای تانن (شادان)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه (گرگان، دزفول، بروجرد و قراخیل) به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) مورد بررسی قرار گرفتند. در مزرعه هر کرت شامل چهار خط شش متری با فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها روی خطوط کاشت هشت سانتی‌متر بود.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس مدل GEI، چندضلعی GGE بای پلات بر اساس داده‌های عملکرد علوفه تر، ۳۲/۹ درصد از تغییرات کل توسط مؤلفه اصلی اول و ۲۲/۱ درصد از تغییرات کل توسط مؤلفه اصلی (در مجموع ۵۵ درصد) توجیه گردید.

نتیجه‌گیری: بر اساس تجزیه و تحلیل GEI و GGE-Biplot، از بین محیط‌های آزمایش، قراخیل و دزفول در سال ۱۴۰۳ توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته و مکان مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد. در دو سال اجرای آزمایش بیشترین عملکرد علوفه تر از ژنوتیپ‌های $G4 < G9 < G3$ به ترتیب به‌میزان ۳۷۴۲۷، ۳۷۵۴۲ و ۳۶۷۶۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین ژنوتیپ G9 دارای بیشترین پایداری از نظر عملکرد علوفه خشک محسوب بود. با توجه به عملکرد مناسب علوفه تر و پایداری عملکرد علوفه خشک معرفی این لاین در مناطق باقلاکاری کشور توصیه می‌شود.

کلید واژگان: برهمکنش ژنوتیپ × محیط، پایداری عملکرد، ژنوتیپ مطلوب، محیط کلان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

منبع: فیض بخش، م. ت.، شاهرودی، م.، قربانی، ح.، شوشی دزفولی، ا. ع.، شیخ، ف. و قطبی، و. (۱۴۰۵). ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا علوفه‌ای (*Vicia Faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات، مجله تولید و ژنتیک گیاهی، ۷ (۱)، ۷۷-۹۲.

<https://doi.org/10.22034/plant.2025.144153.1169>



مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) دارای ارزش غذایی بالایی است (فسفر، کلسیم، آهن و حدود ۲۰-۲۵ درصد پروتئین) و در تناوب، الگوی کشت و سبب غذایی خانوار جایگاه ویژه‌ای دارد (Sheikh & Feyzbakhsh, 2019). کشت باقلا در حفظ پایداری نظام‌های کشاورزی و تثبیت زیستی نیتروژن جوی از طریق همزیستی بسیار کارآمد می‌باشد (Tadele, 2020).

گیاه باقلا، توده علوفه‌ای سبز و پر حجم تولید کرده که برای تغذیه حیوانات مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین علوفه گیاه باقلا را می‌توان به‌طور خالص یا مخلوط با گیاهان خانواده غلات سیلو نمود. گیاه کامل باقلای سیلو شده با کیفیت خوب، می‌تواند به‌عنوان یک علوفه غنی از انرژی و پروتئین برای گاوهای شیری مورد استفاده قرار گیرد. در هنگام سیلو کردن، فعالیت باکتری‌های مولد اسید لاکتیک تحت شرایط بی‌هوازی سبب می‌شوند کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفه به اسیدهای آلی (عمدتاً اسید لاکتیک) تبدیل شده و در نتیجه سبب حفظ pH و نیز کاهش فساد میکروبی علوفه می‌شود (Firew et al., 2019). کشت باقلای علوفه‌ای در استان گلستان، زیست‌توده قابل قبولی (۴۰-۵۰ تن در هکتار علوفه تر) تولید می‌کند و از این رو کشت آن برای تولید علوفه توصیه می‌شود (Feyzbakhsh, 2020). یکی از راهکارهای افزایش تولید علوفه با منابع محدود آب، کشت گیاهان علوفه‌ای پاییزه متحمل به خشکی با کارایی مصرف آب بالا می‌باشد. توسعه کشت گیاهان علوفه‌ای و قرار گرفتن آنها در تناوب با دیگر گیاهان و همچنین استفاده از گیاهان علوفه‌ای مختلف می‌تواند نقش اساسی در تأمین علوفه مورد نیاز کشور، کاهش فرسایش و بهبود بافت خاک، امکان بهره‌برداری از مناطق کم‌بازده و در نتیجه نیل به سمت اهداف کشاورزی پایدار داشته باشد. در اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور و کشت دوم گیاهان علوفه‌ای (بعد از برداشت برنج) می‌توان استمرار تولید علوفه را فراهم نمود و علاوه بر استفاده از این ظرفیت بسیار مهم برای تأمین علوفه مورد نیاز به اقتصاد کشاورزان نیز کمک نمود (Feyzbakhsh, 2020).

محتوای انرژی ناخالص و انرژی قابل متابولیسم دانه‌های باقلا به‌ترتیب از ۱۴/۶۹ تا ۱۹/۷ مگاژول در کیلوگرم ماده خشک ($\text{MJ/kg}^{-1} \text{DM}$) و از ۱۱/۳۰ تا ۱۳/۸۰ مگاژول در کیلوگرم ماده خشک ($\text{MJ/kg}^{-1} \text{DM}$) متغیر است. در مقایسه با دانه سویا، کیفیت پروتئین دانه باقلا با توجه به داشتن نسبت بالاتر اسید آمینه‌های ضروری به محتوای کل اسید آمینه‌ها (EAA/TAA) بالاتر است (Angell et al., 2016). کاشت باقلا با توجه به انرژی و کیفیت پروتئین بالا، به‌عنوان یک منبع جایگزین پروتئینی در جیره جوجه‌های گوشتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ارقام بدون تانن باقلا با توجه به عملکرد بالا در واحد سطح، درصد پروتئین زیاد و پاییزه بودن، در امنیت غذایی، مصرف انسان، خوراک دام و جیره طیور حائز اهمیت هستند (Oluyinka et al., 2019). "مهتا" اولین رقم کم‌تانن و قابل برداشت مکانیزه باقلا با هدف استفاده در تغذیه دام و طیور، در سال ۱۳۹۷ توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی گردید (Sheikh et al., 2023).

به‌طور کلی به ارقامی سازگار اطلاق می‌شود که در دامنه‌ای از محیط‌ها، ضمن داشتن عملکرد بالا، پایدار نیز باشند. ارقام با سازگاری وسیع در یک سری از محیط‌ها عملکرد متوسط و پایدار دارند. عملکرد نهایی هر ژنوتیپ از طریق ظرفیت بالقوه (پتانسیل) آن، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط تعیین می‌شود (Yan & Kang, 2003)، بر همین اساس در تعیین پایداری عملکرد، برهمکنش ژنوتیپ × محیط باید مورد توجه قرار گیرد. در بین روش‌های چندمتغیره، روش GGE بای‌پلات اهمیت ویژه‌ای دارد (Greveniotis et al., 2023). مقایسه روش‌های GGE^۱ بای‌پلات و AMMI^۲ 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). روش GGE بای‌پلات ابزاری کارآمد جهت ارزیابی و تفسیر الگوی محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آنها می‌باشد. سهولت و دقت در تجزیه‌ها و سادگی در تفسیر خروجی‌ها مهم‌ترین مزایای روش GGE بای‌پلات است (Greveniotis et al., 2023).

آبیاری انجام شد. در مرحله برداشت (خمیری نرم دانه)، عملکرد علوفه تر پس از حذف خطوط حاشیه و نیم متر از ابتدا و انتهای دو خط وسط هر کرت در سطح شش مترمربع تعیین شد. همچنین در زمان برداشت، نمونه‌های یک کیلوگرمی از برگ، ساقه و غلاف از هر کرت برداشت شده و در آن با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. وقتی که وزن خشک نمونه‌ها در دو توزین متوالی یکسان شد، ماده خشک ثبت شد و با توجه به درصد ماده خشک، عملکرد ماده خشک محاسبه شد.

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. در این آزمون مقادیر کای اسکویر محاسباتی در همه صفات مورد بررسی کمتر از کای اسکویر جدول (مقدار ۴۳/۷) بود و حاکی از یکنواختی تغییرات خطا در آزمایش بود و امکان تجزیه مرکب را فراهم آورد. 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. به‌منظور رسم نمودارهای بای‌پلات و تعیین ژنوتیپ‌های پرمحصول پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به‌صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم و به نرم افزار GGE بای‌پلات معرفی گردید. برای تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات با استفاده نسخه 4.1 و مدل آماری زیر استفاده شد (Yan & 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 آمین ژنوتیپ در ژامین محیط، μ : میانگین کل، β_j : میانگین اثر محیط زام، λ_1 و λ_2 : مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξ_{i1} و ξ_{i2} : بردارهای ویژه ژنوتیپی، η_{j1} و η_{j2} : بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} : مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ i ام در محیط j ام هستند.

این روش نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برای اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط است که نمودارهای گرافیکی ترسیمی، تصویری از روابط بین ژنوتیپ، محیط و برهمکنش آنها را ارائه می‌کند. استفاده از روش GGE بای‌پلات برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم نان (Singh *et al.*, 2020)، گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2023)، بادام زمینی (Khan *et al.*, 2021)، عدس (Ghaffar *et al.*, 2023)، نخود فرنگی (Tolessa *et al.*, 2013) و باقلا (Sheikh *et al.*, 2021a; Greveniotis *et al.*, 2023) شده‌است. استفاده از روش GGE بای‌پلات توسط محققان مختلف در به‌نژادی سورگوم به کار رفته است (Batista *et al.*, 2017; Enyew *et al.*, 2021; Feyzbakhsh and Khzaei., 2025). هدف از مطالعه حاضر شناسایی محیط‌های بزرگ از نظر عملکرد علوفه تر و خشک باقلا علوفه‌ای و نشان دادن این موضوع بود که روش GGE بای‌پلات می‌تواند مکان‌های ضروری برای انجام آزمایش‌ها را در هر محیط کلان شناسایی کند. 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 × محیط و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا علوفه‌ای بر اساس میانگین عملکرد و پایداری به‌منظور معرفی ژنوتیپ مناسب جهت برنامه‌های به‌نژادی با استفاده از روش GGE بای‌پلات است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق نه لاین کم‌تانن باقلا، به همراه ارقام شاهد کم‌تانن (مهتا) و دارای تانن (شادان) بررسی شدند. این آزمایش در چهار منطقه گرگان، قائم شهر، بروجرد و دزفول طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر ژنوتیپ در چهار خط شش متری کشت شد. فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از زمان کاشت تا برداشت ضمن اجرای عملیات زراعی، یادداشت‌برداری‌های لازم در مراحل مختلف رشد و نمو انجام شد. در منطقه گرگان و قراخیل با توجه به بارش مناسب در طی دوره رشد آبیاری انجام نشد ولی در بروجرد و دزفول بر حسب نیاز گیاه و در مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه جهت تامین رطوبت خاک

جدول ۲- متوسط بارندگی سالیانه، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط های محل آزمایش

مکان	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی گراد)	میانگین بارندگی سالیانه (میلی متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کد محیط		
						بافت خاک	سال ۱۴۰۲	سال ۱۴۰۳
گرگان	۱۹	۳۸۰	54°25' E	36°54' N	۵	لومی رسی	E1	E5
دزفول	۲۳/۱۷	۲۵۰	48°30' E	32°20' N	۸۳	لومی رسی	E2	E6
بروجرد	۱۴/۶	۳۹۰	48°76' E	33°89' N	۱۵۲۰	لومی رسی	E3	E7
قراخیل	۱۹/۴	۸۵۰	52°47' E	36°27' N	۵۱	لوم سیلتی رسی	E4	E8

جدول ۲- نام، کد، منشاء و شجره ژنوتیپ های باقلا علوفه ای

کد	منشاء	شجره	لاین / رقم
G1	ایکاردا	S2008-96	۱
G2	برنامه های به نژادی داخل کشور	ILB1266×ZV1269-1509-39	۲
G3	ایکاردا	S2008-034	۳
G4	ایکاردا	WRB1-5	۴
G5	ایکاردا	WRB1-3	۵
G6	ایکاردا	S2009-167	۶
G7	ایکاردا	S2008-033	۷
G8	ایکاردا	FLIP03-07FB	۸
G9	برنامه های به نژادی داخل کشور	BPL4104(Histal×F6	۹
G10	ایکاردا	White flower × ILB1270-BC	۱۰ (رقم مهتا)
G11	ایکاردا	line F6 latt/338/08	۱۱ (رقم شادان)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین محیطها با هدف انتخاب ژنوتیپهای برتر هر محیط انجام شد، نتایج نشان داد اختلاف بین ژنوتیپهای مورد بررسی از نظر عملکرد علوفه تر و خشک در همه محیطها به جز بروجرد در سال دوم (E7) و قراخیل در سال دوم (E8) معنی دار بود (جدول ۳ و ۴)، مقایسه میانگین ژنوتیپها در محیطهای مختلف نشان داد که ژنوتیپ G9 در هر دو سال اجرای آزمایش بیشترین عملکرد علوفه تر (میانگین دو سال ۳۷۸۲۹ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد و بالاتر از شاهد (مهتا و شادان) قرار گرفت. آزمون بارتلت خطاهای آزمایشی برای محیطهای مختلف $(X^2_{df=7, 13.31^{ns}}$)، فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی را در بین محیطهای مختلف تایید کرد. نتایج

تجزیه واریانس مرکب بر اساس دادههای هشت محیط برای عملکرد علوفه تر و خشک نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط، در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند. این نتایج نشان دهنده تنوع بین ژنوتیپهای باقلا بود. معنی دار شدن برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیز نشان دهنده تظاهر متفاوت ژنوتیپهای باقلا در محیطهای مختلف است. برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان داد که محیط بخش عمده تغییرات عملکرد علوفه ژنوتیپهای باقلا را توجیه می کند. در پژوهش حاضر واریانس محیط ۴۲/۱ درصد، واریانس بین ژنوتیپها ۸/۴ درصد و برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۲۵/۲ درصد از تغییرات کل واریانس دادهها برای صفت عملکرد علوفه تر و واریانس محیط ۵۴/۶ درصد، واریانس بین ژنوتیپها ۵/۹ درصد و برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۸/۳

میانگین عملکرد علوفه تر، ژنوتیپ‌های G1، G3، G4، G8 و G9 نسبت به ارقام شاهد (مهتا و شادان) برتری داشتند. در ایستگاه‌های مورد بررسی میانگین عملکرد علوفه تر و خشک متفاوت بود. یکی از مهمترین دلایل این موضوع متفاوت بودن این ایستگاه‌ها از نظر میانگین دمای روزانه و تشعشع خورشیدی کمتر و همچنین روزهای ابری بیشتر (گرگان و قراخیل) در مراحل رشدی گیاه است (جدول ۱). تفاوت بین ژنوتیپ‌های باقلا در این مطالعه از لحاظ عملکرد علوفه‌تر و خشک معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴). در نتایج سایر تحقیقات نیز تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های باقلا گزارش شده است (Sheikh et al., 2021a). متفاوت بودن عملکرد علوفه‌تر و خشک ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف و وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد که پایداری عملکرد، سهم زیادی در عملکرد علوفه دارد و باعث جابجا شدن ترتیب جایگاه ژنوتیپ‌ها 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 (Rao et al., 2017; Figueir, 2015; Rakshit et al., 2011; Sheikh et al., 2022a). عدم توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط باعث کاهش کارایی گزینش ژنتیکی و بهره‌مندی به‌نژادی می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهشگران از روش GGE بای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کرده‌اند (Sheikh et al., 2022a; Greveniotis et al., 2023).

درصد تغییرات کل واریانس داده‌ها را برای عملکرد علوفه خشک را توجیه کردند (جدول ۵). نتایج سایر تحقیقات روی باقلا نیز نشان داده است که تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را تشکیل می‌دهد (sheikh, et al., 2021a; Tolessa et al., 2019; Tadele et al., 2020). به‌طور کلی در کلیه آزمایش‌های منطقه‌ای، محیط پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبتاً کوچک هستند (Yan & Kang, 2003). بزرگی اثر محیط نشان دهنده تنوع محیط‌ها است و این موضوع به علت تفاوت اقلیم، حداکثر دمای هوا و خاک، تفاوت دمایی شب و روز، میزان بارندگی و پراکنش آن، اسیدیته خاک، خصوصیات خاک، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در محیط‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۱). در آزمایش حاضر برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا علوفه‌ای از محیطی به محیط دیگر معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بردی انجام شد تا در هر محیط ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی شناسایی و معرفی شود (جدول ۳ و ۴). دامنه تغییرات میانگین عملکرد علوفه تر ژنوتیپ‌های باقلا از ۵۶۹۶۵ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G8 در بروجرد سال ۱۴۰۲ (E3) تا ۲۷۲۹۵ کیلوگرم در هکتار برای G2 در بروجرد سال ۱۴۰۳ (E7) متغیر بود (جدول ۳ و ۴). بیشترین و کمترین میانگین عملکرد علوفه خشک به ترتیب در دو محیط (E8 و E2) مربوط به ژنوتیپ G4 (به ترتیب ۱۲۱۰۹ و ۳۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳ و ۴). بر اساس

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

منابع تغییر	محیط اول E1	محیط دوم E2	محیط سوم E3	محیط چهارم E4	محیط اول E5	محیط دوم E6	محیط سوم E7	محیط چهارم E8	میانگین عملکرد علوفه تر(تن در هکتار)
میانگین مربعات ژنوتیپ	۵۸۳۲۲۲۶۱/۴**	۳۰۰۶۲۷۱۵/۹*	۱۲۰۴۴۹۶۱۰/۱**	۳۳۲۴۳۴۴۲/۵*	۳۰۵۱۳۱۷۵/۴۷**	۴۳۴۲۴۹۶۶۰/۸۹**	۶۳۷۲۸۴۰۶/۹۵ ^{NS}	۳۱۸۴۸۳۶۸/۹ ^{NS}	--
میانگین مربعات خطا	۹۸۹۹۹۷۴/۴	۱۱۸۲۷۷۳۶/۵	۳۱۴۴۱۵۷۱/۳	۱۶۱۲۸۸۲۵/۱	۸۲۱۴۲۱۲/۴	۶۳۴۶۰۰۵۷/۲۴	۵۶۴۹۷۵۹۵/۱	۱۹۲۳۹۱۲۸/۳۹	--
ضریب تغییرات (درصد)	۹/۸	۱۱/۴	۱۲/۸	۱۳/۶	۷/۲	۱۶/۶	۲۱/۸	۱۲/۵	--
ژنوتیپ‌های باقلا									
S2008-96	۳۲۶۶۶	۳۰۶۲۹	۴۳۵۸۵	۲۸۴۲۰	۳۹۱۶۶	۵۲۲۲۰	۳۶۶۸۵	۳۲۹۶۸	۳۷۰۴۲
ILB1266×ZV1269-1509-39	۳۴۹۶۳	۳۳۷۲۲	۴۳۴۵۵	۲۳۴۵۸	۳۹۳۳۳	۴۳۳۱۱	۲۷۰۸۷	۳۷۳۳۸	۳۵۳۳۳
S2008-034	۳۶۲۰۸	۳۲۱۲۹	۴۴۷۱۰	۳۰۴۵۸	۴۲۲۰۰	۴۳۶۱۲	۳۷۵۶۵	۳۳۵۰۵	۳۷۵۴۷
WRB1-5	۳۲۳۳۳	۲۷۳۵۱	۴۴۳۸۹	۳۱۸۹۵	۳۹۴۰۰	۴۲۴۹۷	۴۰۸۶۵	۳۵۴۲۱	۳۶۷۶۹
WRB1-3	۲۸۶۶۶	۲۹۳۳۳	۳۳۸۶۶	۳۱۰۲۰	۳۹۲۳۳	۴۷۴۶۶	۳۹۰۲۲	۳۵۲۵۰	۳۵۴۸۰
S2009-167	۳۰۱۹۶	۲۸۱۴۸	۳۷۸۴۴	۲۹۰۰۰	۳۷۸۰۰	۴۴۴۱۲	۲۹۷۹۴	۳۱۱۰۹	۳۳۵۳۸
S2008-033	۲۷۲۹۵	۲۸۰۰۰	۳۷۴۹۴	۲۸۰۴۱	۳۹۶۰۰	۴۶۳۴۴	۲۷۱۱۷	۳۶۰۹۶	۳۳۷۴۸
FLIP03-07FB	۲۷۹۲۵	۲۹۵۳۷	۵۶۹۶۵	۳۰۶۰۴	۳۴۷۰۰	۴۹۰۳۲	۳۶۴۳۷	۳۴۵۱۴	۳۷۴۲۷
BPL4104	۳۳۰۵۷	۳۱۰۳۷	۵۰۹۱۱	۳۱۱۸۷	۴۱۶۰۰	۴۵۳۴۸	۳۴۳۷۵	۳۵۱۲۲	۳۷۸۲۹
شادان	۳۳۰۰۰	۲۹۹۸۱	۴۲۶۴۱	۲۸۰۴۱	۴۰۷۴۰	۴۷۶۷۷	۳۵۷۵۰	۳۶۰۰۲	۳۶۷۲۹
مهتا	۳۳۶۶۶	۳۰۵۷۴	۴۲۳۱۱	۳۰۲۶۶	۳۸۷۶۶	۴۳۵۱۲	۳۳۸۲۵	۳۸۱۲۰	۳۶۳۸۰
میانگین	۳۱۸۱۶	۳۰۰۴۰	۴۳۴۷۰	۲۹۳۰۸	۳۹۲۸۱	۴۵۹۴۶	۳۴۴۱۱	۳۵۰۱۳	۳۶۱۶۶
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD _{0.05}	۵۳۵۸	۵۸۵۷	۹۵۵۰	۶۸۴۰	۴۸۸۱	۱۳۵۶۸	--	--	--

E1: مگرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E5: مگرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۳-)

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های باقلا علوفه‌ای در هشت محیط

منابع تغییر	محیط اول E1	محیط دوم E2	محیط سوم E3	محیط چهارم E4	محیط اول E5	محیط دوم E6	محیط سوم E7	محیط چهارم E8	میانگین عملکرد علوفه خشک(تن در هکتار)
میانگین مربعات ژنوتیپ	۲۷۲۲۴۹۴/۸**	۱۸۲۶۸۲۳/۹*	۳۴۴۵۶۴۲/۱**	۲۲۹۶۱۶۱/۵*	۲۱۱۱۲۸۳۱/۴۷**	۶۲۴۴۸۰/۱۸۹**	۳۸۲۹۷۱۶/۹۵ ^{ns}	۵۳۱۶۷۵۲/۹ ^{ns}	--
میانگین مربعات خطا	۳۷۷۸۴۴/۴	۶۶۷۳۲۷/۵	۱۰۶۶۴۱۷/۳	۶۵۰۱۷۲/۱	۴۳۹۵۹۰/۴	۸۷۵۸۷۳/۲۴	۲۶۵۱۳۱۸/۱	۲۳۳۸۱۹۰/۳۹	--
ضریب تغییرات	۹/۰۶	۱۵/۶	۱۲/۸	۱۲/۷	۹/۲	۱۷/۲	۲۱/۵	۱۴/۷	--
ژنوتیپ‌های باقلا									
S2008-96	۶۷۹۵	۵۳۹۹	۸۰۵۶	۵۹۲۲	۷۶۲۵	۶۱۰۶	۸۱۵۰	۱۰۰۲۳	۷۲۵۲
ILB1266×ZV1269-									
1509-39	۷۳۲۹	۵۹۸۳	۷۵۶۱	۵۰۹۰	۷۲۶۰	۴۸۰۷	۵۸۳۷	۱۱۰۳۸	۶۸۶۳
S2008-034	۷۵۶۳	۵۹۱۶	۸۰۷۹	۵۸۸۵	۷۱۳۶	۴۸۶۷	۷۹۸۵	۱۱۱۴۲	۷۳۲۲
WRB1-5	۷۱۴۵	۳۸۹۲	۷۶۲۰	۶۵۱۱	۶۸۴۸	۴۵۸۸	۹۴۰۱	۱۲۱۰۹	۷۲۶۴
WRB1-3	۶۴۰۴	۵۰۴۵	۷۰۲۹	۶۷۳۶	۷۴۵۴	۵۴۵۷	۸۷۰۳	۱۰۵۰۰	۷۱۶۶
S2009-167	۵۹۱۳	۵۲۱۶	۶۷۹۰	۶۹۷۰	۶۹۳۹	۵۰۵۱	۶۳۸۴	۹۱۹۴	۶۵۵۷
S2008-033	۶۳۲۱	۵۱۵۴	۷۳۷۹	۹۲۹۲	۷۵۱۳	۵۲۴۲	۵۹۲۴	۱۰۰۸۶	۶۷۳۹
FLIP03-07FB	۶۳۲۶	۵۰۶۵	۱۰۵۸۵	۷۰۷۰	۶۷۶۲	۵۶۱۱	۸۲۳۲	۹۹۰۰	۷۴۴۴
BPL4104	۶۴۶۹	۵۴۴۰	۹۱۳۸	۶۱۲۲	۷۵۹۶	۵۴۰۰	۷۳۶۵	۱۰۱۴۹	۷۲۱۰
شادان	۷۵۲۶	۵۰۶۲	۸۱۲۸	۶۱۴۰	۷۴۸۴	۵۴۹۴	۷۶۰۷	۸۶۵۲	۷۰۱۲
مهتا	۶۹۷۲	۵۲۲۹	۸۲۲۳	۶۰۲۴	۷۳۲۷	۵۱۰۴	۷۱۹۸	۱۰۲۵۰	۷۰۴۱
میانگین	۶۷۹۷	۵۲۱۸	۸۰۵۳	۶۲۵۱	۷۲۶۸	۵۲۴۸	۷۵۲۶	۱۰۲۷۷	۷۰۸۰
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD _{0.05}	۱۰۴۶	۱۳۹۱	۱۷۵۸	۱۳۷۳	۱۱۲۹	۱۵۹۴	--	--	--

E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد علوفه تر و علوفه خشک ژنوتیپ‌های باقلا ارزیابی شده در هشت محیط

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر		عملکرد علوفه خشک	
		میانگین مربعات	درصد توجیه واریانس کل	میانگین مربعات	درصد توجیه واریانس کل
محیط	۷	۱۴۳۵۷۹۱۳۶۵/۶**	۴۲/۱	۸۸۹۴۱۰۴۶/۴*	۵۴/۶
خطای ۱	۱۴	۷۲۷۹۰۴۹۴/۶	--	۳۳۱۹۶۹۱/۹	--
ژنوتیپ	۱۰	۱۹۹۵۷۸۱۳۸/۳**	۸/۴	۶۷۸۰۸۷۰/۶۳**	۵/۹
ژنوتیپ × محیط	۷۰	۸۶۱۱۹۹۲۴/۳**	۲۵/۴	۲۹۸۷۷۶۴/۸۴**	۱۸/۳
خطای ۲	۱۶۰	۲۷۰۸۸۶۳۷/۰۱	--	۱۱۳۳۳۴۱/۹	--
کل	۲۶۳	--	--	--	--

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

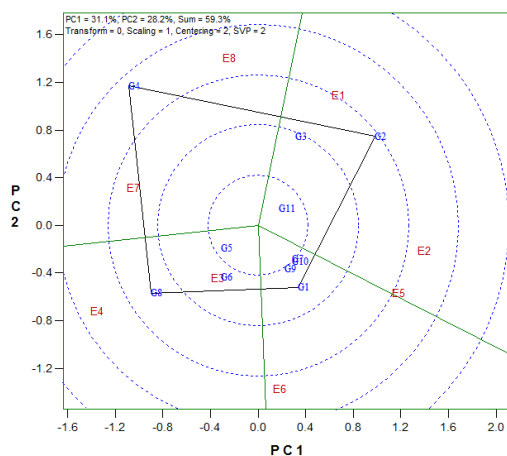
(بروجرد ۱۴۰۳) قرار داشتند و ژنوتیپ G4 به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط شناخته شد. محیط کلان چهارم شامل محیط E6 (دزفول ۱۴۰۳) و ژنوتیپ G8 ژنوتیپ برتر این محیط بود. همچنین با توجه به واریانس درون محیط ژنوتیپ‌های G1 و G5 بیشترین شباهت را با هم دارند و جهت کشت در E6 (دزفول ۱۴۰۳) مناسب شناخته شدند، والد مادری این دو لاین سیستر لاین می‌باشند.

بر اساس عملکرد علوفه خشک ۵۹/۳ درصد از تغییرات توسط دو مؤلفه اول (۳۱/۱ درصد) و دوم (۲۸/۲ درصد) توجیه شد، در چندضلعی بای‌پلات چهار محیط کلان شناسایی شد، محیط کلان اول شامل محیط‌های E1 (گرگان ۱۴۰۲)، E2 (دزفول ۱۴۰۲)، E5 (گرگان ۱۴۰۳)، محیط کلان دوم E6 (دزفول ۱۴۰۳) و محیط کلان سوم شامل محیط‌های E3 و E4 (بروجرد ۱۴۰۲) و قزاقیل (۱۴۰۲) بود. ژنوتیپ‌های G2 و G1 به ترتیب ژنوتیپ‌های برتر محیط کلان اول و دوم و G8، ژنوتیپ برتر محیط کلان سوم و G4 ژنوتیپ‌های سازگار با محیط کلان چهارم محسوب می‌شوند (شکل ۱-ب). فلورز و همکاران (Flores et al., 2013) 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. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک مبدأ قرار دارند به تغییر محیط واکنش زیادی نشان نمی‌دهند بنابراین ژنوتیپ‌های G1 و G10 برای عملکرد علوفه تر و ژنوتیپ‌های G5 و G11 و عملکرد علوفه خشک از پایداری عمومی بالایی برخوردار هستند (شکل ۱-الف و ب). (Sheikh et al., 2021) نیز با استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ‌های باقلا سازگار به محیط‌های مختلف را شناسایی و ژنوتیپ‌های واقع در مرکز

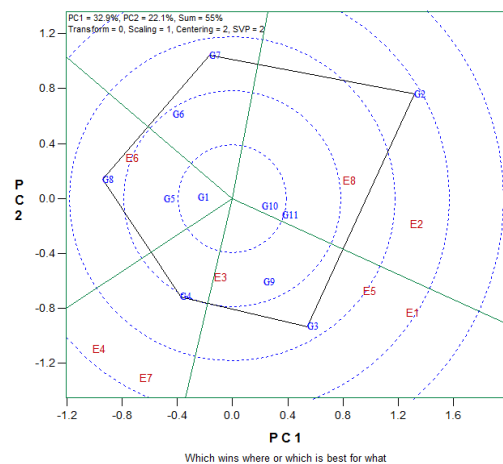
تحقیقات متعددی برای مطالعه پایداری عملکرد دانه در باقلا با استفاده از روش GGE بای‌پلات انجام پذیرفته است (Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021). نمودار چندضلعی از بهم پیوستن دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات ایجاد می‌شود و برخی از ژنوتیپ‌ها در رأس و برخی دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند (Yan & Kang, 2003). از مبدأ روی هر ضلع چندوجهی خطی عمود می‌شود تا شکل به چند قسمت تقسیم شود دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات، بهترین در آن محیط است و دارای سازگاری خصوصی برای آن محیط می‌باشد (Yan et al., 2000). بر اساس مدل GEI، چندضلعی GGE بای‌پلات بر اساس داده‌های عملکرد علوفه تر، ۳۲/۹ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی اول و ۲۲/۱ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی دوم بود که در مجموع ۵۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند (شکل ۱-الف). وندافرو و همکاران (Wondaferew et al., 2024) در مطالعه‌ای دو ساله در سه مکان با استفاده از روش GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار باقلا را شناسایی کردند. در این مطالعه نیز بر اساس نمودار چند ضلعی پنج محیط کلان مشخص شدند، محیط کلان اول شامل محیط‌های E2 (دزفول ۱۴۰۲) و E8 (قزاقیل ۱۴۰۳) بود و ژنوتیپ G2 که در رأس چند ضلعی قرار دارد، به‌عنوان ژنوتیپ برتر برای عملکرد علوفه تر شناخته شد (شکل ۱-الف)، دو ژنوتیپ G10 و G11 درون این محیط قرار گرفتند، محیط کلان دوم، شامل محیط‌های E1 (گرگان ۱۴۰۲)، E3 (بروجرد ۱۴۰۲) و E5 (گرگان ۱۴۰۳) بود و ژنوتیپ G3 به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخت شد، یعنی این ژنوتیپ دارای برتری و سازگاری خصوصی بالایی با محیط کلان اول می‌باشد و در محیط کلان سوم محیط‌های E4 (قزاقیل ۱۴۰۲) و E7

بالا و پایدار هستند. بر اساس عملکرد علوفه تر ژنوتیپ G3 در نزدیکی مرکز دواير متحدالمرکز قرار داشته و پایدار محسوب می‌شود (شکل ۲-الف). پس از آن ژنوتیپ G9، به ژنوتیپ مطلوب نزدیک‌تر بود و در رتبه بعدی قرار داشت. بر اساس عملکرد علوفه خشک ژنوتیپ‌های G5، G6، G7، G9 و G10 در نزدیکی مرکز دواير متحدالمرکز قرار گرفتند و نزدیک‌ترین ژنوتیپ به دایره مرکزی ژنوتیپ G5 بود (شکل ۲ ب).

بای‌پلات را دارای اثر متقابل نزدیک به صفر و پایداری عمومی بیشتر معرفی کردند. بر اساس مدل GGE (اثر ژنوتیپ + اثر متقابل ژنوتیپ × محیط) در تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا شناسایی شدند (شکل ۲ الف و ب). شکل ۲-الف رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل نشان می‌دهد. بدین منظور از مبدأ مختصات خطی به نقطه میانگین‌ها وصل می‌شود و به طرفین ادامه پیدا می‌کند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز دواير متحدالمرکز قرار دارند، در کلیه محیط‌ها بالاترین عملکرد را داشته و دارای پایداری عمومی 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

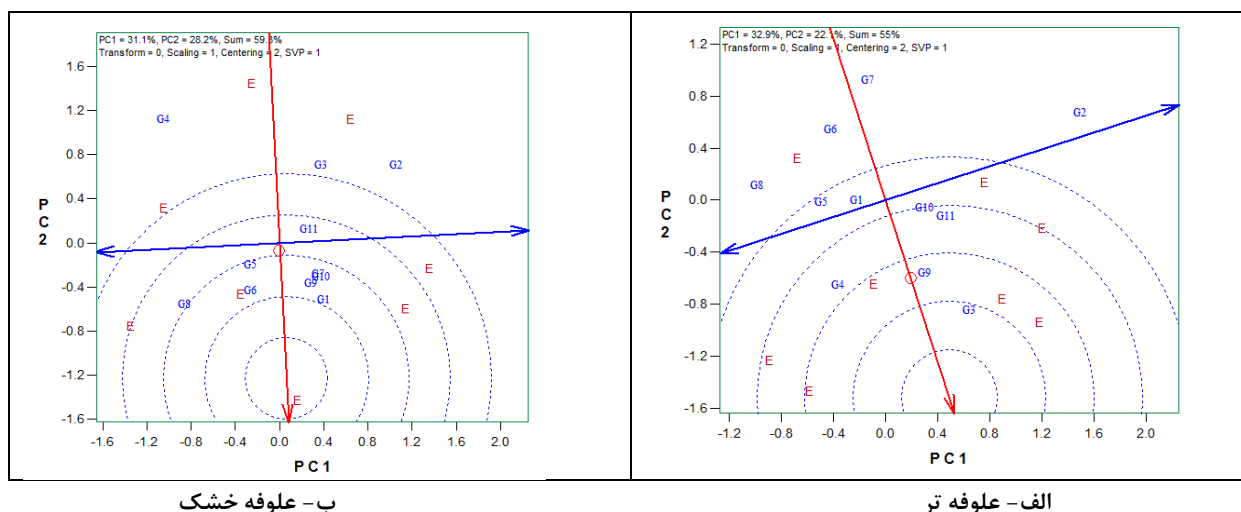


ب- علوفه خشک (Dry forage)



الف- علوفه تر (Wet forage)

شکل ۱- چندضلعی GGE بای‌پلات بر اساس داده‌های عملکرد علوفه تر و خشک ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط شماره ژنوتیپ‌ها همانند جدول ۱ و کد محیط‌ها به ترتیب E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳) می‌باشد.



شکل ۲- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب

شماره ژنوتیپ‌ها همانند جدول ۱ و کد محیط‌ها به ترتیب E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳) می‌باشد.

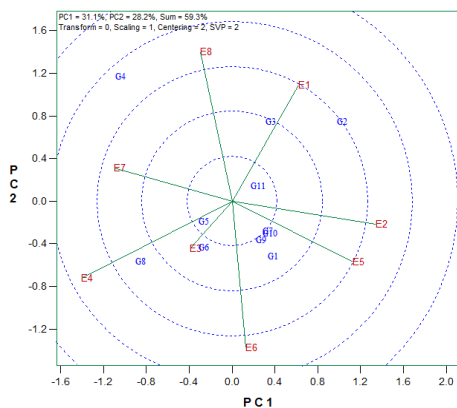
ارزیابی محیط‌های آزمایش استفاده شد، نمای نمایندگی و قدرت تمایز محیط‌ها است (شکل ۴-الف و ب)، که در آن محیط‌ها از طریق بردارهایی به مبدا بای‌پلات وصل می‌شوند. هر محیطی که کمترین زاویه را با بردار افقی داشته باشد، به محیط مطلوب نزدیک‌تر و به‌عنوان محیط نماینده محسوب خواهد شد. بنابراین محیط‌های نزدیک به محیط مطلوب و دارای طول بردار بلندتر، توانایی تمایز و قدرت نمایندگی بیشتری دارند و کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها به درستی برآورد می‌شود. در این بررسی محیط‌های E3 (بروجرد ۱۴۰۲) و E7 (بروجرد ۱۴۰۳) بلندترین طول بردار و توانایی بالایی برای تمایز ژنوتیپ‌ها دارند. در این نما طول بردار هر محیط، نشان دهنده توانایی تمایز آن محیط است و انحراف معیار درونی آن محیط را نشان می‌دهد (Yan & Kang, 2003). اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، نتایج آزمایش قابل اعتماد نخواهند بود. کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آن‌ها را نشان می‌دهد (Tadele *et al.*, 2020). بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۴-الف، محیط E5 (گرگان ۱۴۰۳) و در شکل ۴-ب، محیط E6 (دزفول ۱۴۰۳) کمترین فاصله را با محیط مطلوب دارد. محیط‌های E4 (قراخیل ۱۴۰۲) و E7 (بروجرد ۱۴۰۳) برای علوفه‌تر و محیط‌های E4 (قراخیل ۱۴۰۲)، E6 (دزفول ۱۴۰۳) و E8 (قراخیل ۱۴۰۳) برای علوفه خشک با داشتن طول بردار بلندتر از قدرت تمایز بالاتری نسبت به سایر

برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های آزمایشی از نمودار بای‌پلات که در آن محیط‌ها توسط بردارهایی به مبدأ وصل می‌شوند، استفاده شد (شکل ۳-الف و ب). کوسینوس زاویه بین دو بردار محیطی به‌عنوان ضریب همبستگی بین محیط‌ها شناخته می‌شود (Yan & 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). بررسی بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها برای صفت عملکرد علوفه‌تر نشان داد، محیط‌های E1 (گرگان ۱۴۰۲)، E2 (دزفول ۱۴۰۲)، E5 (گرگان ۱۴۰۳) و E8 (قراخیل ۱۴۰۳) سپس سه محیط E3 (بروجرد ۱۴۰۲)، E4 (قراخیل ۱۴۰۲) و E7 (بروجرد ۱۴۰۳) با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند و محیط E6 (دزفول ۱۴۰۳) در گروه مجزا قرار گرفت (شکل ۳-الف). با استفاده از نمودار بررسی همبستگی بین محیط‌ها و بر اساس زاویه بین بردارها هشت محیط به سه گروه مجزا تقسیم شدند، بنابراین با اجرای آزمایش در سه مکان نیز نتایج مشابه حاصل خواهد شد. برای صفت عملکرد علوفه خشک بین محیط‌های E3 (بروجرد ۱۴۰۲)، E4 (قراخیل ۱۴۰۲) و E7 (بروجرد ۱۴۰۳) همبستگی بالایی وجود داشت (شکل ۳-ب). نمای دیگری که برای

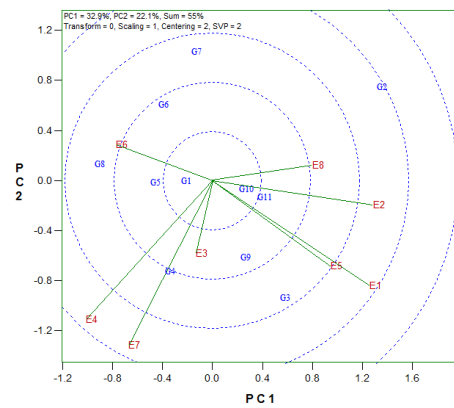
طول بردار را داشت. بر این اساس این محیط قدرت تمایز بالایی برای ژنوتیپ‌های باقلا نداشته و اجرای آزمایش در این محیط توصیه نمی‌شود.

برای تعیین ژنوتیپ مطلوب دو معیار پایداری و عملکرد بالا مورد نظر هستند، بنابراین ژنوتیپی مطلوب است که دارای حداکثر عملکرد و پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیکترین فاصله را با ژنوتیپ مطلوب داشته باشد در رتبه‌های بعدی مطلوبیت قرار دارد (Yan & Kang, 2003).

محیطها برخوردار بوده و می‌توان از آنها برای تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های پایدار از ژنوتیپ‌های ناپایدار استفاده کرد. این نمای بای پلات نشان‌دهنده قدرت تمایز بالای محیط بروجرد در سال ۱۴۰۳ (E7) و محیط قراخیل در سال ۱۴۰۲ (E4) بود (شکل ۳ الف و ب). از بین محیط‌های آزمایش، محیط‌های قراخیل در هر دو سال و دزفول در سال ۱۴۰۳ توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته و مکان مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر برای عملکرد علوفه خشک شناخته شد. محیط E3 (بروجرد ۱۴۰۲) برای هر دو صفت عملکرد علوفه‌تر و خشک کمترین



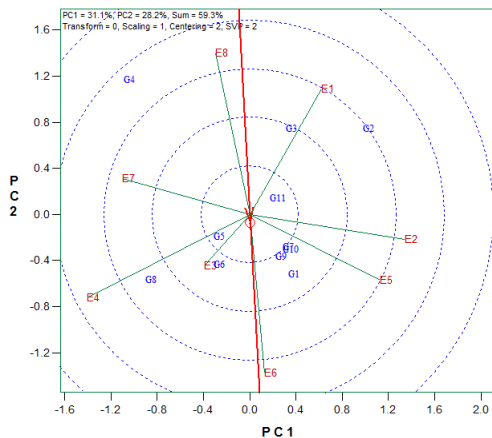
ب - علوفه خشک



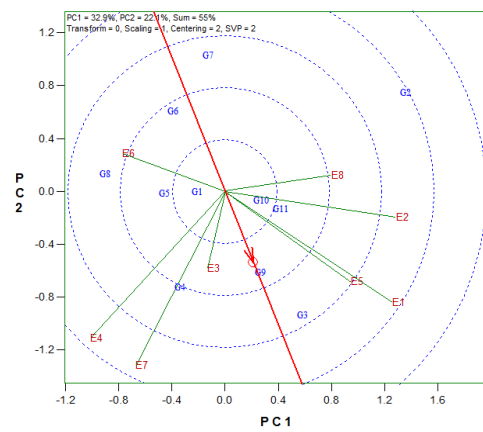
الف - علوفه تر

شکل ۳- بای پلات بررسی روابط بین محیط‌های آزمایشی

شماره ژنوتیپ‌ها همانند جدول ۱ و کد محیط‌ها به ترتیب E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳) می‌باشد.



ب - علوفه خشک

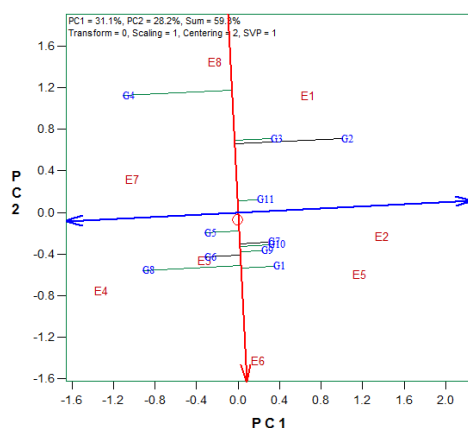


الف - علوفه تر

شکل ۴- بای پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل

شماره ژنوتیپ‌ها همانند جدول ۱ و کد محیط‌ها به ترتیب E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳) می‌باشد.

متحدالمركز در بای پلات) ژنوتیپ مطلوب است و ژنوتیپ نامطلوب که دور از ژنوتیپ ایده آل است، می تواند در چرخه های اولیه به نژادی حذف شود (Yan & Kang, 2003). براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۵-الف ژنوتیپ های $G11 < G4 < G9 < G3 < G6 < G7$ بیشترین عملکرد علوفه تر و ژنوتیپ های $G6$ و $G7$ کمترین عملکرد علوفه تر را داشتند. ژنوتیپ های $G9$ و $G3$ به دلیل اینکه کمترین فاصله را با محور افقی داشتند، دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی بوده و دارای بیشترین پایداری محسوب می شوند. شکل ۵-ب نشان می دهد که ژنوتیپ های $G1 < G8 < G6 < G9 < G4 < G2$ بیشترین عملکرد علوفه خشک و و ژنوتیپ های $G4$ ، $G3$ و $G2$ کمترین عملکرد علوفه خشک را داشتند. ژنوتیپ $G9$ دارای بیشترین پایداری از نظر عملکرد علوفه خشک محسوب می شود. غفار و همکاران (Ghaffar *et al.*, 2023) نیز با استفاده از روش گرافیکی GGE بای پلات از بین ژنوتیپ های عدس مورد مطالعه در هفت محیط، ژنوتیپ $G6$ را به عنوان ژنوتیپ مطلوب با عملکرد پایدار و چهار ژنوتیپ $G2$ ، $G4$ ، $G5$ و $G7$ را به عنوان ژنوتیپ مطلوب معرفی کردند.



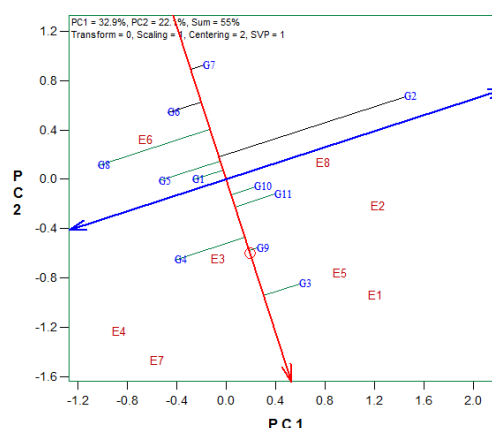
ب- علوفه خشک

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

شماره ژنوتیپ ها همانند جدول ۱ و کد محیط ها به ترتیب E1: گرگان (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E2: دزفول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E3: بروجرد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E4: قراخیل (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، E5: گرگان (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E6: دزفول (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E7: بروجرد (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، E8: قراخیل (۱۴۰۲-۱۴۰۳) می باشد.

تغییرات عملکرد علوفه تر و خشک را به خود اختصاص داد که نشان دهنده حساسیت بالای عملکرد علوفه ژنوتیپ های باقلا به تغییرات محیط است. برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱۸/۳ و ۲۵/۴ درصد از کل تغییرات عملکرد علوفه

در شکل ۵ محور افقی دارای یک پیکان است که از مبدا مختصات می گذرد و بردار محیط متوسط (Average Tester coordinate) نامیده می شود، ژنوتیپ هایی که سمت راست محور عمود بر این بردار قرار گرفته اند، عملکرد بیشتر از میانگین و ژنوتیپ های سمت چپ عملکرد کمتر از میانگین داشتند و تصویر ژنوتیپ ها روی محور ATC نشان دهنده پایداری عملکرد ژنوتیپ ها است (Temesgen *et al.*, 2015). فاصله کمتر از محور عملکرد نشانگر پایداری ژنوتیپ است (Rezene, 2019). در این شکل با یک دایره کوچک نشان دهنده ژنوتیپ ایده آل است. این ژنوتیپ ممکن است در واقعیت وجود نداشته باشد، اما می تواند به عنوان مرجعی برای گزینش ژنوتیپ های با عملکرد بالا و پایدار (Yan & Kang, 2003) استفاده شود، دارای بیشترین میانگین عملکرد (با بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ ها با عملکرد بالا یا خط ATC) و پایداری (کمترین نقش در برهمکنش ژنوتیپ × محیط و در نتیجه کمترین فاصله عمودی با خط ATC) است. هرچه قدر فاصله ژنوتیپ ها از این ژنوتیپ ایده آل بیشتر باشد، از مطلوبیت آن (عملکرد و پایداری) کاسته می شود. این نما نشان می دهد که نزدیک ترین ژنوتیپ، به ژنوتیپ ایده آل (واقع در اولین دایره



الف- علوفه تر

نتیجه گیری کلی

در آزمایش حاضر بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، محیط به ترتیب ۴۲/۱ و ۵۴/۶ درصد از مجموع مربعات

آزمایش مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. براساس نتایج مقایسه عملکرد علوفه و ارزیابی سازگاری، ژنوتیپ‌های باقلا به تفکیک انتخاب شدند. ژنوتیپ G3 مناسب علوفه تر برای گرگان و مناطق دارای اقلیم مشابه مناسب شناخته شد. ژنوتیپ G1 مناسب کشت در دزفول و ژنوتیپ‌های G2 برای علوفه خشک در گرگان مناسب شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها از سازگاری خصوصی بالایی برخوردار بودند. با توجه به ارزش تغذیه‌ای و کم توقع بودن گیاه باقلا این ژنوتیپ‌ها را می‌توان جهت کشت توصیه نمود.

سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۰۰۱۱۵۴-۰۳۱۳-۵۷-۱۳-۰، 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.

تر و خشک را توجیه کردند. واکنش عملکرد علوفه تر و خشک هیبریدهای 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 پایدار و پرمحصول، به حداکثر تولید محصول دست یافت. نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که با توجه به نزدیکی ژنوتیپ‌های G10 و G1 برای علوفه تر و ژنوتیپ‌های G11 و G5 برای علوفه خشک به مبدأ بای‌پلات، این ژنوتیپ‌ها از پایداری عمومی بالایی نسبت به محیط‌های آزمایشی برخوردار بودند، اما ژنوتیپ‌های G7 و G6 بر اساس عملکرد علوفه تر سازگار به هیچ‌کدام از محیط‌ها سازگار نبودند. در این تحقیق ژنوتیپ‌های G1، G3، G9 و G6 در نمودارهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر پایداری، از عملکرد علوفه بیشتری نیز برخوردار بودند. وجود ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالاتر از ارقام شاهد، نشان‌دهنده بهبود ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی باقلا کشور است. در آزمایش حاضر، قراخیل و دزفول در سال ۱۴۰۳ توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشتند و به‌عنوان محیط

منابع

- Arif, A., Parveen, N., Waheed, M. Q., Atif, R. M., Waqar, I., & Shah, T. M. (2021). A comparative study for assessing the drought-tolerance of chickpea under varying natural growth environments. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 22-28. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607869>
- Angell, A. R., Angell, S. F., de Nys, R., & Paul, N. (2016). Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends food science technology*, *54*, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.0141>
- Batista, P. S. C., Menezes, C. B., Carvalho, A. J., Portugal, A. F., Bastos, E. A., Cardoso, M. J., Santos, C.V., & Julio M. P. M. (2017). Performance of grain sorghum hybrids under drought stress using GGE biplot analyses. *Genetics and Molecular Research*, *16*(3), 111-135. <https://doi.org/10.4238/gmr16039761>
- Demelash, H. (2024). Genotype by environment interaction, AMMI, GGE biplot, and mega environment analysis of elite Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes in humid lowland areas of Ethiopia. *Heliyon*, *10* (2024) 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26528>
- Enyew, M., Feyissa, T., Geleta, M., Tesfaye, K., Hammenhag, C., & 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), 0258211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258211>
- Feyzbakhsh, M. T. (2020). Comparison of quantitative and qualitative forage yield of vetch, green pea and broad bean forage plants in the climatic conditions of Gorgan. *Forage and Animal Feed Promotional Magazine*, *4*(1), 48-55.
- Feyzbakhsh, M. T., Khazaei, A. (2025). Interaction of genotype \times environment on new hybrids yeild of forage sorghoum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using GGE biplot method. *Plant production and genetics*. *6*(1). 87- <https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.143212.1151>
- Firew, A. M., Amsalu, B., 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), 2135-2145. <https://doi.org/10.5897/Ajar2019.14180>
- Ghaffar, M., Asghar, M. J., & 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*, 2316–2330. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01182-x>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Kantas, D., & 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>
- Esmaili Khanbebin, H., Dadashi, M. R., Feyzbakhsh, M. T., Sheikh, F., Nakhzari Moghadam, A. (2025). Effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of new Faba bean lines (*Vicia faba* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. *18*(2). 283-298. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.7085.2260>
- Khan, M. M. H., Rafii, M. Y., Ramlee, S. I., Jusoh, M., & 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>
- Mohammadi, R., Jafarzadeh, J., Poursiahbidi, M. M., & 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*, 364–374. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00661-y>
- Rakshit, S., Ganapathy, K. N., Gomanshe, S. S., Dhandapani, A., Swapna, M., Ehtre, S. P., & Gadakh, S. R. (2017). Analysis of Indian post-rainy sorghum multi-location trial data reveals complexity of genotype \times environment interaction. *The Journal of Agricultural Science*, *155*(1), 44-59. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000137>
- Rao, P. S., Reddy, P. S., Rathore, A., & Reddy, B. V. S. (2011). Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype \times environment interaction and seasonal adaptation. *Indian Journal Agricultural Sciences*, *81*, 438-444.
- 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*(1), 35- 44. <https://doi.org/10.5539/jps.v8n1p35>
- Sheikh, F., & Feyzbakhsh, M. T. (2019). Faba bean, (*Vicia faba* L.) Planting, Cropping, Harvesting. *Nashre, Amoozesh, Keshavarzi*. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran. 94 pp.
- Sheikh, F., Nazari, H., & Fanaei, H. (2022). Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean genotypes using the biplot method. *Journal of Crop Production*, *15*(2), 117-135. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19563.2457>
- Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A., & Aghajani, M. A. (2021)a. Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Production and Processing*. *11*(3), 85-99. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.3.36412>
- Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K., & Sekhavat, R. (2021)b. Evaluation stability of seed yield of faba

- bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), 125-144. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2022.18908.2411>
- Sheikh, F., Sekhavat, R., & Aghajani, M. (2022)c. 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), 131-147. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.131>
- Sheikh, F., Miri, K., Sekhavat, R., & Asteraki, H. (2023). Graphical analysis of grain yield stability for selection of superior faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 41-52 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.353171.654968>
- Oluyinka, O., Robin, A., Walker, L., & Houdijk, J. G. 2019. Evaluation of the nutritive value of legume alternatives to soybean meal for broiler chickens. *Poultry Sciences*, 98(1), 5778-5788. <https://doi.org/10.3382/ps/pez374>
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B. S. Singh, G., Chatrath, R., & 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, 309-318. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43>
- Tolessa, T., Gemechu, K., Tadesse, G., Jarso, M., & 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, 116-123. <https://doi.org/10.1002/agj2.21268>
- Tolessa, T.T., Keneni, G., Mohammed, H., & 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, 265–274. <https://doi.org/10.1007/s12892-019-0071-0>
- Yan, W. (2016). Analysis and handling of G×E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56, 2106-2118. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0336>
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists, CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, USA. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Flores, F., Hybl, M., Knudsen, J.C., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., Narits, L., Raffiot, B., Sass, O., Solis, I., Winkler, J., Stoddard, F. L., & Rubiales, D. (2013). Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145(3), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.022>
- Tadele, M., Mohammed, W., & 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), 833-846. <https://doi.org/10.1002/agj2.21268>
- Wondaferew, D., Mullualem, D., Bitewlgn, W., Kassa, Z., Abebaw, Y., Ali, H., Kebede, K., & Astatkie, T. (2024). Cultivating sustainable futures: multi-environment evaluation and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by using different stability parameters in Ethiopia. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1108-1121 <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05829-4>