

Selection of superior faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for yield and disease resistance using GYT biplot method

Fatemeh Sheikh^{1*}

¹ (Corresponding author), Associate Professor of 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

Article Info

Article type:
Research Full Paper

ABSTRACT

Background and objectives: Enhancing resistance to foliar diseases, particularly chocolate spot (*Botrytis fabae*), Alternaria leaf spot (*Alternaria alternata*), and Stemphylium blight (*Stemphylium botryosum* and *S. vesicarium*), is a primary objective of faba bean breeding programs. Disease resistance is most effective when integrated with high grain yield within a single genotype. The genotype-by-yield×trait (GYT) biplot method facilitates the identification of superior genotypes that combine high yield with favorable secondary traits.

Materials and Methods: Field experiments were conducted during the 2018–2020 growing seasons at the Gorgan Agricultural Research Station, Iran, using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Fifteen faba bean genotypes, including four commercial cultivars, one disease-susceptible check, and ten promising breeding lines from national breeding program, were evaluated. Traits assessed included disease severity, standardized area under the disease progress curve (sAUDPC), plant height, yield components, and grain yield. Disease progression was monitored at five time points to calculate sAUDPC. Data were analyzed using SAS software, and means were compared using the LSD test at $P \leq 0.01$. GYT biplot analysis, integrated with cluster analysis, was employed to simultaneously evaluate disease resistance and yield-related traits for optimal genotype selection.

Results: Combined analysis of variance revealed highly significant differences ($P \leq 0.01$) among genotypes for all agronomic and disease resistance traits. The mean grain yield was 3324 Kg ha⁻¹, with a range of 1786 to 4461 Kg ha⁻¹. The GYT biplot explained 88.6% of the total variation. The "which-won-where" polygon view partitioned the biplot into six sectors, three of which highlighted favorable trait combinations. Sector 1 contained genotype G12 (Feyz cultivar), combining yield with the number of seeds per pod and 100-seed weight. Sector 2 featured genotype G10 (line HBP/SOE/99), combining yield with plant height and number of branches. Sector 3 was dominated by genotypes G13 (Shadan) and G14 (Mahta), which exhibited superior disease resistance indices at the polygon vertices. The vector view indicated strong associations between grain yield and sAUDPC values for Stemphylium blight and Alternaria leaf spot, highlighting the complex trade-offs between yield and disease susceptibility. The average tester coordinate

Article history:

Received: 2025-10-10
Accepted: 2026-7-21

Keywords:

Disease severity
Cluster analysis
Chocolate spot
Alternaria leaf spot
Stemphylium blight

(ATC) view ranked the genotypes as G13 > G10 > G14 > G12 > ... > G15. Genotypes G10 and G12 were identified as the best performers due to their positive yield-trait combinations, whereas G5, G7, and G15 were the weakest. Cluster analysis grouped the genotypes into four distinct clusters, providing a basis for diversifying heterotic pools in future breeding efforts.

Conclusion: In faba bean breeding, integrating disease resistance and key yield components (such as pod length and 100-seed weight) with high grain yield in a single genotype is crucial. The GYT biplot proved to be an effective tool for identifying ideal genotypes that balance yield and multiple agronomic traits. Overall, genotype G10 (HBP/SOE/99) demonstrated an outstanding combination of fungal disease resistance, high yield potential, and excellent adaptation to the local conditions of Gorgan, making it a promising candidate for cultivar release or as a parental line in breeding programs.

Cite this article: Sheikh, F. 2026. Selection of superior faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for yield and disease resistance using GYT biplot method. *Crop Production Journal*, 19 (2), 69-90.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2026.24158.2718](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24158.2718)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا (*Vicia faba* L.) از لحاظ عملکرد و مقاومت به بیماری با استفاده از روش GYT بای‌پلات

فاطمه شیخ^{۱*}

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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: افزایش سطح مقاومت در برابر بیماری‌های لکه برگ، لکه شکلاتی (<i>Botritis fabae</i>)، لکه برگ آلترناریا (<i>Alternaria alternata</i>)، سوختگی استمفیلیومی (<i>S. botryosum</i>) و (<i>Stemphylium vesicarium</i>)، از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی باقلا هستند. مقاومت به بیماری، زمانی بیشترین کارایی را دارد که با عملکرد دانه بالا در یک ژنوتیپ همراه باشند. روش تجزیه ژنوتیپ بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد×صفت (GYT) به انتخاب ژنوتیپ‌هایی مطلوب برای صفات مورد بررسی در حضور عملکرد دانه بالا کمک می‌کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۳۰	مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. پانزده ژنوتیپ باقلا شامل چهار رقم تجاری (G11 تا G14)، یک شاهد حساس به بیماری (G15) و ده لاین امیدبخش (G1 تا G10) از برنامه ملی اصلاح باقلا مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل شدت بیماری، سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری (SAUDPC)، ارتفاع گیاه، اجزای عملکرد و عملکرد دانه بود. جهت محاسبه SAUDPC، پیشرفت بیماری در پنج مرحله از زمان ظهور علائم نمونه برداری شد. داده‌ها با نرم افزار SAS تحلیل و میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) مقایسه شدند. برای ارزیابی همزمان مقاومت به بیماری و بهبود صفات کمی، تحلیل دوبعدی GYT در ترکیب با تجزیه خوشه‌ای به کار گرفته شد تا بهترین ژنوتیپ‌ها انتخاب و نقاط قوت و ضعف هر ژنوتیپ از طریق ترکیب عملکرد با سایر صفات هدف تعیین شود.
واژه‌های کلیدی: شدت بیماری تجزیه خوشه‌ای لکه شکلاتی لکه برگ آلترناریا سوختگی استمفیلیومی	یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تفاوت بسیار معنی دار در سطح احتمال یک درصد بین ژنوتیپ‌های باقلا برای صفات زراعی و مقاومت به بیماری وجود دارد. میانگین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌ها ۳۳۲۴ کیلوگرم در هکتار و دامنه تغییرات عملکرد بین ۱۷۸۶-۴۴۶۱/۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. یافته‌ها نشان داد، بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت، ۸۸/۶ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کند. نمای کدام ژنوتیپ در کجا در بای‌پلات چندضلعی، فضای بای‌پلات را به شش بخش تقسیم کرد که سه بخش آن حاوی ترکیبات مطلوب عملکرد-صفت بودند. در بخش

اول، ژنوتیپ G12 (رقم فیض) همراه با ترکیب عملکرد با صفات تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه قرار گرفت. در بخش دوم، ژنوتیپ G10 (لاین HBP/SOE/99) در ترکیب با صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه متمایز شد. در بخش سوم نیز ژنوتیپ‌های G13 (رقم شادان) و G14 (رقم مهتا) به دلیل داشتن شاخص‌های برتر مقاومت به بیماری در رأس چندضلعی قرار گرفتند. بر اساس نمایش برداری GYT بای‌پلات، مقادیر SAUDPC بیماری سوختگی استمفیلیومی و مقادیر SAUDPC بیماری لکه برگ آلترناریایی در ترکیب با عملکرد دانه بیشترین همبستگی را داشتند. نمای مختصات میانگین تستر (ATC) از GYT بای‌پلات، 15 ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر از میانگین طبقه‌بندی کرد و به صورت $G15 > G12 > G14 > G10 > G13$ رتبه‌بندی شدند، در حالی که G12 و G10 با تمام ترکیبات مثبت عملکرد-صفت به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G5، G7 و G15 به عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها رتبه‌بندی شدند. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های باقلا به چهار گروه تقسیم شدند. گروه‌های متمایز به دست آمده، برای استخراج ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌های متنوع و شناسایی تنوع خزانه ژنی مفید هستند.

نتیجه‌گیری: در برنامه‌های اصلاح نژادی باقلا، تلفیق صفاتی چون طول غلاف، وزن صد دانه و مقاومت به بیماری با عملکرد بالای دانه در یک ژنوتیپ واحد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه نشان داد که GYT بای‌پلات ابزاری کارآمد برای شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل است که تعادل مناسبی بین عملکرد و چندین صفت زراعی برقرار می‌کنند. در نهایت ژنوتیپ G10 (HBP/SOE/99) ترکیب مطلوبی از مقاومت به بیماری‌های قارچی، پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری با شرایط اقلیمی منطقه گرگان داشت و به عنوان رقم جدید یا به عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌گردد.

استناد: شیخ، فاطمه. (۱۴۰۵). گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا (*Vicia faba* L.) از لحاظ عملکرد و مقاومت به بیماری با استفاده از روش GYT بای‌پلات. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۹ (۲)، ۹۰-۶۹.



[10.22069/ejcp.2026.24158.2718](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24158.2718)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) با $2n=2x=12$ کروموزوم، از گیاهان مهم خانواده بقولات بوده و کشت و مصرف آن به عنوان یک منبع پروتئینی و تثبیت‌کننده نیتروژن توصیه می‌شود (۱). باقلا منبع خوبی از پروتئین‌های غنی از اسید آمینه لیزین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و بسیاری از ترکیبات فعال زیستی، به‌ویژه لوودوپا^۱ (L-dopa) (پیش‌ساز دوپامین) است. باقلا با داشتن خصوصیات نظیر دامنه سازگاری وسیع، کشت پاییزه و تولید محصول با استفاده از آب سبز و امکان کشت دیم در مناطقی با بارندگی حدود ۳۵۰ میلی‌متر، یکی از بهترین گزینه‌ها در تناوب با غلات و دانه‌های روغنی محسوب می‌شود (۲). با این حال، حساسیت این محصول به شرایط آب و هوایی (بیشتر خشکسالی و گرما) و همچنین حساسیت بالای آن به بیماری‌ها، مانع از عملکرد و پایداری آن می‌شود (۳). کنترل بیماری‌های لکه برگی در باقلا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، درصد کاهش عملکرد در مواجهه با بیماری‌ها ۲۵ درصد تخمین زده شده است و در شرایط مساعد خسارت بیماری تا ۵۰ درصد هم می‌رسد (۴). برق‌زدگی (*Ascochyta fabae*)، لکه شکلاتی (*Botrytis fabae* Sard)، لکه برگی آلترناریایی (*Alternaria alternata*)، سوختگی استمفیلیومی (*Stemphylium vesicarium*) و پژمردگی آوندی (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fabae*) مهم‌ترین بیماری‌های باقلا محسوب می‌شوند که با خسارت به برگ و محدود نمودن فتوسنتز، باعث کاهش تولید باقلا در واحد سطح می‌شوند (۵). قارچ عامل لکه شکلاتی، معمولاً به صورت آسیب به شاخ و برگ، اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد غلاف سبز و دانه بروز می‌کند.

خسارات ناشی از لکه شکلاتی در شرایط مساعد گسترش بیماری، به ۶۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد (۶). اگرچه قارچ‌کش‌ها می‌توانند به مدیریت بیماری کمک کنند، اما استفاده از آن‌ها در سیستم‌های کم نهاده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و به محیط زیست نیز آسیب می‌رساند. اصلاح ژنتیکی مقاومت به بیماری بهترین راهکار کنترل بیماری می‌باشد (۷)، منابع مقاوم به بیماری جایگزین کارآمدتری هستند و قبلاً شناسایی شده‌اند (۸) و در اصلاح نژاد مقاوم مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۹). این ارقام تنها در صورتی ارزش اقتصادی و قابلیت معرفی خواهند داشت که این مقاومت با عملکرد بیشتر همراه باشد، در واقع هدف به‌نژادی ترکیب عملکرد بالا و قابل قبول با سطوح مطلوب دیگر صفات در ژنوتیپ می‌باشد (۱۰)، انتخاب ژنوتیپ برتر بر اساس ترکیب صفات موضوع پیچیده‌ای است از سوی دیگر عملکرد دانه صفتی کمی با وراثت‌پذیری پایین و تحت تأثیر عوامل محیطی است، به‌همین منظور روش بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT) جهت بررسی ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت توسط یان و فرگورید (۲۰۱۸) ارائه شد (۱۱). روش GYT ابزاری قدرتمند جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها از لحاظ چندین صفت است، بر اساس این شاخص عملکرد مهم‌ترین صفت است و سایر صفات در صورتی معیار انتخاب برای معرفی رقم خواهند بود که با عملکرد بالا همراه باشند (۱۲). ژنوتیپی برتر است که از لحاظ ترکیب عملکرد با سایر صفات نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشته باشد (۱۳). بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص مانع توصیه ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین خواهد شد (۱۲). در آنالیز بای‌پلات GYT، بردار نشان دهنده عملکرد دانه وجود ندارد، زیرا مقادیر آن در ترکیبات جدید عملکرد-صفت ثبت می‌شوند. یکی

¹ Levodopa

دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد رویکرد بای‌پلات GT، در مقایسه با آنالیز GT، این است که در نهایت یک شاخص برتری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تعریف می‌شود (۱۱). از شاخص GT در لوبیا (۱۴)، سویا (۱۵)، لوبیا چشم بلبلی (۱۰) و باقلا (۳) برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر استفاده شده است. در گندم نیز از این روش برای انتخاب ژنوتیپ‌های با کیفیت بهینه (پروتئین، روی و آهن) در شرایط نرمال و تنش خشکی (۱۶) و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری (۱۷) استفاده شده است. هدف از این تحقیق، شناسایی ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل زراعی بالا و مقاومت مزرعه‌ای در برابر بیماری‌های قارچی در باقلا به منظور انتخاب والدین و بررسی بیشتر جهت برنامه‌های معرفی رقم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با تعداد ۱۵ ژنوتیپ باقلا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان، واقع در کیلومتر ۵ جاده گرگان به آق‌قلا، طول جغرافیایی ۲۵ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۵ متر در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اجرا شد. در این بررسی، ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G4 و G6 از طریق دورگ‌گیری و انتخاب در نسل‌های در حال تفکیک با روش بالک -شجره‌ای و انتخاب تک غلاف

طی برنامه‌های اصلاحی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اصلاح شده و به خلوص رسیده‌اند (۱۸). منشا ژنوتیپ‌های G5، G7، G8، G9 و G10 خزانه ۲۰۱۳ ایکاردا و پنج کد G15- G10 نیز شامل ارقام فیض، مهتا، برکت، شادان(شاهد مقاوم به بیماری) و لاین ILB365 (شاهد حساس به بیماری) بود (جدول ۱). هر کرت شامل ۶ ردیف چهار متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خط ۱۳ سانتی‌متر بود. کاشت آزمایش در نیمه دوم آبان به صورت دیم انجام شد. برای کنترل علف‌های هرز قبل از دیسک آخر علف کش ترفلان به مقدار ۲/۵ لیتر در هکتار استفاده شد. کنترل شته سیاه باقلا با استفاده از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار انجام شد. طی مراحل رشد و برداشت، یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در زمان گلدهی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و وزن صد دانه، ابتدا ۰/۵ متر از حاشیه ابتدا و انتهای هر خط حذف گردید. در ادامه پس از خشک شدن کامل، تمام بوته‌های هر کرت برداشت، خرمن کوبی و دانه‌های به دست آمده، با ترازوی دقیق توزین شدند. پس از تبدیل، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- نام، کد، منشأ و شجره ژنوتیپ‌های باقلای مورد ارزیابی

Table 1. Name, code, origin and pedigree of faba bean genotypes used in the experiment				
ژنوتیپ‌های باقلا	نام	منشأ	شجره	خصوصیت بارز
Faba bean genotypes	Entry name	Origin	Pedigree	
G1	G-Faba-515	Gorgan	Barkat×ILB 1814	دانه درشت
G2	G-Faba-522	Gorgan	Barkat×ILB 5284	دانه درشت
G3	G-Faba-523	Gorgan	Barkat×ILB 4720	عملکرد زیاد
G4	G-Faba-521	Gorgan	Barkat×Giza Blanka	دانه درشت
G5	Giza 717	ICARDA	503/453/83×ILB938	متحمل به خشکی
G6	3111N	Gorgan	Barkat×New mammoth	دانه درشت
G7	Flip11-090-FB	ICARDA	F8/7119/06/HBP/DSO/2000	متحمل به تنش گرما
G8	Flip12-027	ICARDA	Fam.54-A	مقاوم به بیماری
G9	Aquadulce	ICARDA	ILB1266	حساس به بیماری
G10	line 1/46	ICARDA	HBP/SOE/99	عملکرد زیاد
G11 (check)	Barekat	ICARDA	ILB1269	دانه درشت
G12 (check)	Feyz	ICARDA	ILB3621	دانه درشت - غلاف بلند
G13 (check)	Shadan	ICARDA	Line F6 latt/7/08	مقاوم به بیماری - غلاف کوتاه
G14 (check)	Mahta	ICARDA	WRB2-5	مقاوم به بیماری
G15	ILB365	ICARDA	Rebaya 40	حساس به بیماری

استاندارد شده پیشرفت بیماری sAUDPC به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ به دست آمد (۸ و ۱۹).

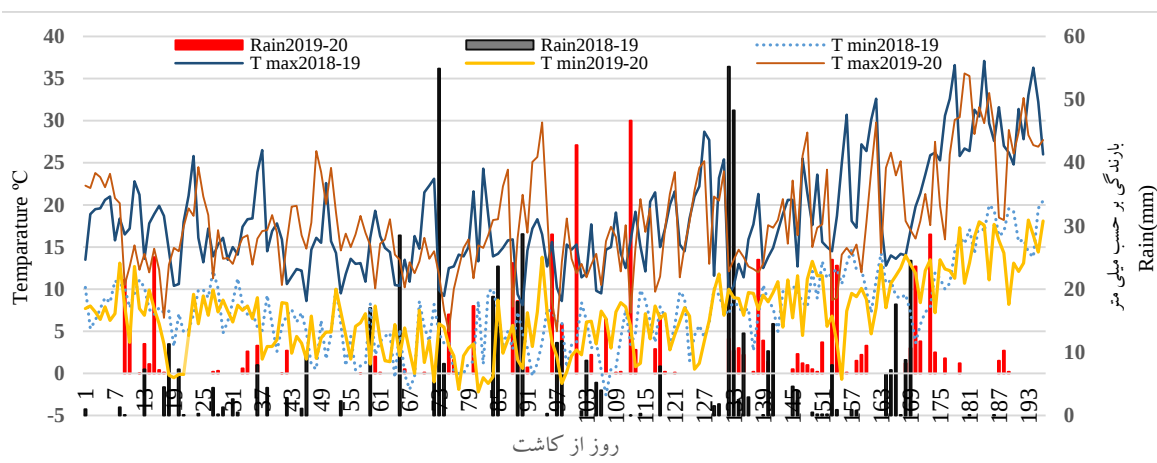
$$DS = \frac{\sum n_i s_i}{N \times 9} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

$$AUDPC = \sum \frac{1}{2} \{ (y_{i+1} + y_i) (x_{i+1} - x_i) \} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$sAUDPC = \left(\frac{AUDPC (genotype)}{T} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه‌های فوق DS: شدت متوسط بیماری، score: نمره شدت بیماری بوته‌ها بر اساس مقیاس، AUDPC: سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، sAUDPC: سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری، n: تعداد بوته‌ها، x: شدت بیماری هر بوته، t: زمان (بر حسب روز از کاشت)، i: نوبت یادداشت برداری را نشان می‌دهند (۸).

ارزیابی بیماری: واکنش لاین‌ها نسبت به بیماری‌های لکه‌شکلاتی، لکه‌برگی آلترناریایی و سوختگی استمفیلیومی بررسی شد. جهت ایجاد آلودگی، علیرغم مساعد بودن شرایط محیطی جهت گسترش بیماری، تنها به آلودگی طبیعی اکتفا نشد، اطراف آزمایش و بین خطوط، ژنوتیپ حساس به بیماری‌های لکه‌برگی باقلا (ILB365) به عنوان پخش‌کننده اسپور قارچ‌های بیمارگر، دو هفته زودتر از ژنوتیپ‌های مورد بررسی کشت گردید. اپیدمی بیماری‌های لکه‌برگی (لکه‌شکلاتی، سوختگی استمفیلیومی و برق‌زدگی) با اندازه‌گیری شدت در چند مرحله طی فصل رشد ارزیابی شد. بر اساس حساسیت و تحمل نسبت به بیماری، نمره‌دهی بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای و در هر پلات از روی ۱۰ بوته تصادفی انجام شد (۹). سپس مقادیر شدت بیماری (DS)، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC)، سطح زیر منحنی



شکل ۱- تغییرات دما و بارندگی از ۱۵ آبان تا اول خرداد طی دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۹)، Rain: بارندگی بر حسب میلی‌متر، T: درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد، min: کمینه، max: بیشینه.

Figure 1- Changes in temperature and precipitation from November 7 to May 20 during the two years of the experiment (2018-2020). R: Rain (mm), T: Temperature (°C), min: minimum and max: maximum.

GYT به مقادیر ویژه ژنوتیپ، مقادیر ویژه ترکیب عملکرد- صفت و مقادیر منفرد تجزیه شدند. مدل آماری این روش به صورت رابطه ۵ است (۱۲).

$$P_{ij} = (d\lambda_1^\alpha \zeta_{i1})(\lambda_1^{1-\alpha} \tau_{1j}/d) + (d\lambda_2^\alpha \zeta_{i2})(\lambda_2^{1-\alpha} \tau_{2j}/d) + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه بالا ζ_{i1} و ζ_{i2} به ترتیب مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی اول و دوم PC1 و PC2 برای ژنوتیپ i ، τ_{1j} و τ_{2j} به ترتیب مقادیر ویژه PC1 و PC2 برای ترکیب عملکرد- صفت j ، λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر منفرد مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، ε_{ij} آثار باقیمانده مدل، α فاکتور تقسیم‌بندی مقادیر منفرد، در صورتی که $\alpha = 1$ برای مثال $SVD=1$ در GGEbiplot، بای‌پلات بر ژنوتیپ‌ها متمرکز شده و برای مقایسه ژنوتیپ‌ها سودمند است، در صورتی که $\alpha = 0$ ($SVD = 2$)، بای‌پلات بر ترکیب عملکرد- صفت متمرکز شده و برای نمایش همبستگی بین ترکیبات سودمند است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD بر سطح احتمال یک درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. در تجزیه بای‌پلات GYT با توجه به اینکه صفات مورد بررسی دارای واحدها و مقیاس‌های متفاوتی بودند، استاندارد سازی داده‌ها با استفاده از رابطه (۴) انجام شد (۱۱):

$$P_{ij} = \frac{T_{ij} - \bar{T}_j}{S_j} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۴، P_{ij} عدد استانداردشده ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد- صفت j ، T_{ij} داده اولیه ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد- صفت j ، $\bar{T}_j$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها برای ترکیب عملکرد- صفت j و S_j انحراف معیار ترکیب عملکرد- صفت j در همه ژنوتیپ‌ها است. جدول GYT (جدول ۴) بر اساس ترکیب هر صفت و عملکرد دانه و شاخص GYT هر ژنوتیپ طبق روش یان و فرگورید (۲۰۱۸) به دست آمد (۱۱). بای‌پلات GYT بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول و دوم PC1 و PC2 حاصل از تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) داده‌های استاندارد شده انجام شد. در نتیجه داده‌های

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب بر پایه طرح بلوکهای کامل تصادفی صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های باقلا در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۷

منابع تغییر Source of variation	میانه‌های مربعیات MS									
	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه Branch	تعداد غلاف Number of pod	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	عملکرد دانه Grain yield	وزن صد دانه 100 seed weight	B	sAUDPC(B)	AL	sAUDPC(AL)
Year (Y)	1	2039.18*	62.25**	169.46**	0.95**	1955508**	126.97**	123.83*	57.98 ^{ns}	18.09 ^{ns}
Replication(Y)	4	27.93	0.89	1.27	0.07	53598	5.41	52.74	50.14	16.95
Genotype(G)	14	197.61**	0.35 ^{ns}	78.10**	1.31**	1874166**	2056.38**	1800.94**	929.28**	384.95**
Y × G	14	250.96**	1.10**	12.87**	0.08**	343131**	32.32**	62.04**	38.03 ^{ns}	19.86*
Error	56	63.22	0.3876	1.61	0.02	25268	5.88	19.61	21.35	9.30
CV		6.66	13.9	7.00	3.73	4.78	1.98	6.97	9.03	7.36

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

متغیرهای مورد استفاده جهت ارزیابی بیماری‌ها عبارتند از: B: شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی؛ sAUDPC(B): دامنه تغییرات سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی؛ AL: شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی؛ sAUDPC(AL): دامنه تغییرات سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی؛ S: شدت نهایی بیماری سوختگی استمفیلیوم؛ sAUDPC(S): دامنه تغییرات سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری سوختگی استمفیلیوم.

The variables used to evaluate the diseases are: B (Disease severity of chocolate spot), sAUDPC(B) (Standardized area under the disease progress curve of chocolate spot), AI (Disease severity of Alternaria leaf spot), sAUDPC(AI) (Standardized area under the disease progress curve of Alternaria leaf spot), S (Disease severity of stemphyllium blight), sAUDPC(S) (Standardized area under the disease progress curve of Stemphyllium bligh)

جدول ۳- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های باقلا برای صفات عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های مقاومت به بیماری

Table 3- Mean comparison of faba bean genotypes for yield, yield component and disease resistance index

Genotype	ارتفاع بوته Plant height		تعداد شاخه Branch		تعداد غلاف Number of pod		تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod		عملکرد دانه Grain yield		وزن صد دانه 100 seed weight		B		sAUDPC(B)		AL		sAUDPC(AL)		S		sAUDPC(S)	
	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20
G1	102.0	126.5	4.8	3.7	12.2	15.9	4.4	4.4	2853.3	3747.0	134.7	137.0	81.5	87.0	41.4	54.1	54.3	59.3	22.1	27.9	59.3	63.0	32.5	35.6
G2	121.7	136.2	5.1	4.2	14.6	17.2	4.3	4.1	3295.7	3686.0	136.0	131.7	75.9	66.7	42.8	44.7	43.1	48.1	19.8	29.5	53.7	63.0	32.2	37.6
G3	109.3	126.2	4.9	4.2	13.7	23.4	4.3	3.7	3106.7	4461.7	127.0	130.3	63.0	67.4	32.2	44.7	63.0	56.7	24.2	29.0	44.4	44.4	24.1	26.1
G4	110.3	127.3	5.3	3.5	13.6	21.2	4.2	3.6	3036.7	3985.0	135.3	133.8	74.1	61.1	40.2	38.1	55.6	59.3	24.9	29.0	53.0	55.6	26.1	29.1
G5	110.3	124.0	5.9	3.0	18.8	19.3	3.7	3.7	2720.0	2617.7	101.3	96.7	70.4	74.1	44.0	43.5	55.6	62.7	31.0	34.8	51.1	63.0	26.5	33.0
G6	117.0	131.7	4.7	4.4	13.2	17.0	4.1	4.1	3363.3	3905.0	152.0	139.7	54.8	61.9	33.5	37.1	48.1	49.3	24.1	25.4	48.1	51.9	23.7	27.9
G7	109.7	117.5	5.6	3.1	18.2	17.4	4.1	3.7	3097.3	2700.7	105.6	105.3	66.7	71.9	37.5	48.7	52.2	61.1	21.5	31.0	64.8	63.0	33.4	31.7
G8	115.3	120.0	4.5	3.5	16.8	18.3	3.8	3.8	2835.0	3041.0	105.1	110.0	46.3	42.2	22.0	20.3	55.6	61.1	19.5	23.2	51.9	51.9	25.5	25.2
G9	104.7	127.0	6.4	3.5	18.4	18.7	3.8	3.6	3294.3	3284.0	121.4	123.8	63.3	67.8	32.5	37.5	55.6	62.0	20.5	21.5	58.1	57.4	33.2	31.0
G10	100.0	125.2	5.8	3.7	23.0	25.4	4.0	3.7	4152.9	4234.7	124.3	118.7	43.0	51.1	18.7	31.7	44.8	37.4	11.4	19.6	47.4	52.2	28.6	31.2
G11	126.0	130.7	5.9	3.8	11.8	13.3	4.5	4.5	3121.7	3297.0	151.3	142.8	72.2	83.3	42.2	51.2	60.0	63.0	25.8	25.6	66.7	68.5	39.6	41.9
G12	115.7	128.2	5.0	3.5	14.4	15.4	5.2	4.7	4209.4	4029.7	141.3	138.2	57.8	59.3	39.4	32.5	29.6	33.3	12.6	11.0	47.4	51.1	22.1	22.6
G13	129.0	125.2	4.7	4.1	23.1	28.5	3.3	2.9	3695.3	3661.8	121.7	116.7	34.1	38.5	20.0	25.6	11.1	18.5	4.8	8.0	35.9	33.0	14.9	14.1
G14	128.0	110.3	5.5	3.2	21.4	21.1	3.5	3.5	3085.0	3146.2	108.3	107.0	35.2	37.4	22.7	25.0	9.3	11.9	4.2	5.8	21.1	13.0	11.7	5.4
G15	118.0	104.0	5.7	3.3	18.3	20.8	3.3	3.3	1786.0	2277.4	83.7	82.1	96.3	100.0	70.4	72.4	51.0	55.6	33.2	28.2	51.9	48.1	28.9	23.9
mean	114.5	124.0	5.3	3.6	16.8	19.5	4.0	3.8	3176.8	3471.6	123.3	120.9	62.3	64.6	36.0	40.5	47.6	49.6	20.0	23.3	50.3	51.9	26.9	27.8
LSD1%	15.33	10.8	1.28	0.7	2.09	2.1	0.19	0.3	303	222	4.16	3.9	7.5	7.27	3.6	4.4	7.8	9.4	3.2	6.3	7.6	7.7	5.0	5.1

Means followed by the same letters in each column did not differ significantly at 1% probability level

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند

دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده- sAUDPC(AL): شدت نهایی بیماری لکه برگی آلترناریا، AL: دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی؛ sAUDPC(B): متغیرهای مورد استفاده جهت ارزیابی بیماری‌ها عبارتند از:

دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری سوختگی استمفیلیومی، sAUDPC(S): شدت نهایی بیماری سوختگی استمفیلیومی؛ B: بیماری‌های آلترناریا؛

The variables used to evaluate the diseases are: B: Disease severity of chocolate spot, sAUDPC(B): Standardized area under the disease progress curve of Alternaria leaf spot, sAUDPC(AL): Standardized area under the disease progress curve of Stemphyllium blight, sAUDPC(S): Standardized severity of stemphyllium blight, S: Disease severity of Alternaria leaf spot, S: Disease severity of stemphyllium blight.

روابط ژنوتیپ $\times$ ترکیب عملکرد - صفت از انتخاب α تاثیر نگرفته است. مقیاس d به گونه‌ای انتخاب شده است که طول بلندترین بردار در بین ژنوتیپ‌ها با طول آن در ترکیب عملکرد - صفت برابر باشد. برای تجزیه GYT بای پلات از نرم‌افزار GGE Biplot V6.3 استفاده شد. تجزیه‌ی خوشه‌ای (کلاستر) مبتنی بر روش وارد (Ward) بر اساس توان دوم فاصله اقلیدسی پس از استاندارد کردن داده‌ها برای عملکرد دانه و مقادیر SAUDPC با استفاده از نرم افزار SPSS(ver19) انجام شد.

نتایج و بحث

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همچنین بررسی یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. تفاوت معنی‌داری بین دو سال از لحاظ کلیه صفات مشاهده شد (جدول ۲). بررسی داده‌های هواشناسی (شکل ۱) نشان داد که دو سال زراعی از نظر الگوی بارش و دما تفاوت‌های معنی‌داری داشتند. در سال اول (۹۸-۱۳۹۷)، اگرچه بارندگی کافی بود، اما وقوع تنش گرما در اواخر فصل رشد (دمای حداکثر بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله پر شدن دانه) منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه (۸/۵ درصد) شد (جدول ۳). الگوی بارش نسبت به مجموع بارندگی اهمیت بیشتری دارد، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ دمای معتدل (۲۲-۱۵ درجه سانتی‌گراد) و بارش‌های پی در پی با فواصل کوتاه منجر به افزایش رطوبت نسبی در نتیجه افزایش فشار بیماری و تشدید علائم در ژنوتیپ‌های حساس شد (۵) و بدین ترتیب، قدرت تفکیک پذیری آزمایش را از نظر صفت مقاومت به بیماری افزایش داد. تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده

شد، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عکس العمل نسبت به بیماری معنی‌دار بود (جدول ۲)، بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات در هر دو سال اجرای آزمایش ژنوتیپ G15 کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد، بیماری‌های لکه برگ‌ی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد این ژنوتیپ می‌باشد. ژنوتیپ‌های G13 (شادان) و G14 (مهتا) در هر دو سال کمترین میزان بیماری را داشتند، به ویژه در سال دوم که فشار بیماری بیشتر بود، برتری این دو رقم محرز گردید، شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی، در سال دوم برای شادان ۳۵/۹ بود در حالی که برای شاهد حساس G15 به ۱۰۰ رسید. در سال اول ژنوتیپ (G12(ILB3621)، در سال دوم ژنوتیپ (G3(Barkat $\times$ ILB 4720) و بر اساس میانگین دو سال ژنوتیپ G10(HBP/SOE/99) به ترتیب با عملکرد دانه ۴۲۰۹/۴، ۴۴۶۱/۷ و ۴۱۹۳ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). رقم شاهد برکت (ژنوتیپ G11) و ژنوتیپ G2(Barkat $\times$ ILB 5284) بیشترین ارتفاع بوته، رقم شاهد شادان و ژنوتیپ G10(HBP/SOE/99) بیشترین تعداد غلاف در بوته، رقم شاهد فیض بیشترین تعداد دانه در غلاف، و ژنوتیپ G6(Barkat $\times$ New mammoth) بیشترین وزن صد دانه را در هر دو سال اجرای آزمایش به خود اختصاص دادند (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری بین دو سال اجرای آزمایش از لحاظ کلیه صفات زراعی و صفات مرتبط با بیماری‌های لکه شکلاتی، لکه برگ‌ی آلترناریایی و سوختگی استمفیلیومی مشاهده شد. وجود تنوع برای صفات مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مرتبط با بیماری در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، به انتخاب هم‌زمان برای عملکرد و مقاومت به بیماری کمک خواهد کرد، با یافتن ترکیبات مناسب از لحاظ

و دزفول در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ نشان داد، ژنوتیپ‌های Fam.54-A و HBP/SOE/99 دارای کم‌ترین مقادیر sAUDPC و مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به بیماری لکه شکلاتی بودند. عملکرد، اجزای عملکرد و عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها نسبت به بیماری‌های قارچی به میزان زیادی تحت تاثیر محیط قرار داشت، به منظور حذف اثر تغییرات محیطی بین مکان‌ها، گزینش ژنوتیپ‌ها برای هر محیط به طور جداگانه انجام شد (۱۸).

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) رقم مهتا (G14) و رقم برکت (G11) به ترتیب با میانگین بیماری لکه‌برگی آلترناریایی ۹/۳ و ۶۰ در سال اول و ۱۱/۴ و ۶۳ در سال دوم، دارای کم‌ترین و بیش‌ترین شدت نهایی بیماری بودند (جدول ۳). بر اساس مقدار سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت (sAUDPC) بیماری لکه‌برگی آلترناریایی، در سال اول ژنوتیپ‌های G5 و G15 و در سال دوم ژنوتیپ‌های G7 و G5 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به بیماری لکه‌برگی آلترناریایی بودند. ارقام مهتا (G14) و شادان (G13)، دارای کمترین مقدار سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت (sAUDPC) بیماری بودند و رقم فیض و ژنوتیپ‌های G3، G8 و G6 در رتبه‌های بعدی مقاومت نسبت به این بیماری قرار گرفتند.

سوختگی استمفیلیومی یکی از مهم‌ترین بیماری‌های قارچی باقلا محسوب می‌شود و علائم این بیماری در اواسط بهار مخصوصاً بعد از بارندگی ظاهر می‌شود (۲۱). در بررسی‌های اخیر این بیماری یکی از مهم‌ترین و خسارت‌زاترین بیماری‌های باقلا در استان گلستان بوده‌است (۵). دامنه تغییرات مقدار سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت (sAUDPC) بیماری سوختگی استمفیلیومی ۳۵/۷ تا ۵۷/۴۲ بود (جدول ۳). بر اساس این متغیر، بین

عملکرد و مقاومت به بیماری نیازی به تولید هیبرید جهت ترکیب این صفات نخواهد بود (۶ و ۱۸). تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه اجزای عملکرد باقلا محسوب شد و دو صفت وزن صد دانه و تعداد دانه در غلاف علاوه بر تاثیر مثبت بر عملکرد نقش مهمی در بازارپسندی باقلا دارند (۳). تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ مقادیر DS و sAUDPC لکه شکلاتی، لکه برگی آلترناریایی و سوختگی استمفیلیومی مشاهده شد (جدول ۲). سطح آلودگی در دو سال اجرای آزمایش به شدت تحت تاثیر بارندگی قرار گرفت، ارقام مهتا و شادان نسبت به هر سه بیماری مقاومت خوبی نشان دادند (جدول ۳). مطابق با مطالعات قبلی (۱۸ و ۲۰)، تفاوت‌های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در واکنش به لکه شکلاتی مشاهده شد و ژنوتیپ‌های G13 و G14 مقاومت قابل توجهی نشان دادند. دامنه تغییرات شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی در سال اول بین ۳۴/۱ (شاهد مقاوم به بیماری شادان) و ۹۶/۳ (ژنوتیپ ILB365) و در سال دوم از ۳۷/۴۰ (رقم مهتا) تا ۱۰۰ (شاهد حساس) متغیر بود و سایر ژنوتیپ‌ها بین این دو ژنوتیپ قرار گرفتند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های G8 و G10 با داشتن کمترین مقادیر سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری و نزدیک به ارقام شاهد مقاوم به بیماری، مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به بیماری لکه شکلاتی بودند، کاشت این ژنوتیپ‌ها با هدف کنترل این بیماری اقدامی مناسب است. با توجه به حساسیت ژنوتیپ G15 (رقم RebaYa40 - لاین ILB365) نسبت به بیماری لکه شکلاتی (جدول ۳)، از این ژنوتیپ می‌توان در کارهای اصلاحی در ارتباط با مطالعه ژن‌های کنترل‌کننده مقاومت نسبت به بیماری لکه شکلاتی استفاده کرد. ارزیابی مقاومت ۶۴ رقم و لاین باقلا در مقابل جدایه‌های قارچ عامل بیماری لکه شکلاتی در گرگان

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف بسیار معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۲). ژنوتیپ‌های G13 و G14 با داشتن کمترین مقادیر سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری، از لحاظ به مقاومت بیماری سوختگی استمفیلیومی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها برتری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند، پس از آن رقم فیض و ژنوتیپ‌های G8، G9، G10 و G13 قرار داشتند. ژنوتیپ G5 (Giza717) حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به بیماری سوختگی استمفیلیومی بود، بعد از آن ژنوتیپ G15 قرار داشت (جدول ۳). ژنوتیپ‌های G5 و G7 نسبت به بیماری لکه برگی آلترناری نیز از حساسیت بالایی برخوردار بودند، از آنجایی‌که قارچ عامل سوختگی استمفیلیومی به صورت ساپروفتیک و پاتوژنیک عمل می‌کند، زخم‌های ناشی از بیماری لکه برگی آلترناری شرایط را جهت گسترش بیماری سوختگی استمفیلیومی فراهم می‌کند (۵)، با توجه به حذف تاثیر زمان، فاکتور سطح استاندارد شده زیر منحنی پیشرفت بیماری (sAUDPC) بیانگر دید جامع‌تری نسبت به شدت بیماری است، به همین دلیل می‌توان بین اپیدمیولوژی‌هایی با مدت زمان نامساوی مقایسه درستی انجام داد (۸). نتایج ارزیابی ۹۹ ژنوتیپ باقلا در مواجهه با بیماری سوختگی استمفیلیومی بیانگر تنوع موجود بین ژنوتیپ‌های باقلا از لحاظ مقاومت به این بیماری می‌باشد، در این بررسی بر اساس شدت نهایی بیماری و مقادیر sAUDPC هشت ژنوتیپ مقاوم شناسایی شدند (۵)، پس از انجام آزمایشات تکمیلی و ارزیابی سازگاری، ژنوتیپ line F6 lat/338/08 به نام رقم شادان در سال ۱۳۹۶ در کشور معرفی شد (۲۲).

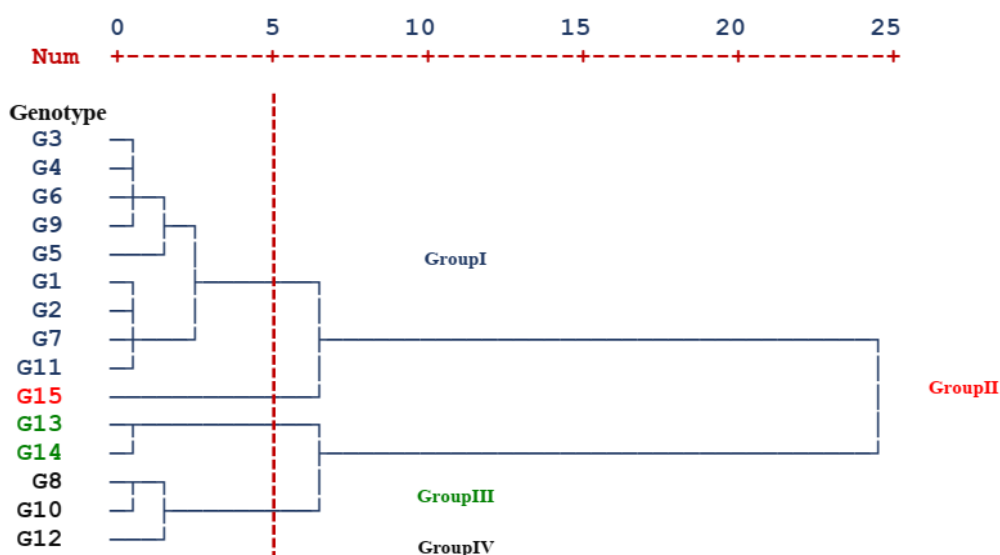
تجزیه کلاستر: گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس میانگین دو ساله مقادیر DS و sAUDPC بیماری‌های لکه شکلاتی، لکه برگی آلترناریایی و

سوختگی استمفیلیومی انجام شد (شکل ۲). برش دندروگرام مزبور بر اساس آماره لامبدای ویلکس^۱ در فاصله ۵ واحد انجام شد و ۴ گروه تشکیل گردید. گروه اول (I) شامل ۹ ژنوتیپ بود با توجه به نتایج آماره T2 هتلینگ بردار میانگین گروه اول تفاوت معنی‌داری با بردار میانگین کل داشت. گروه اول از لحاظ مقاومت به بیماری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در سطح متوسط قرار داشت. گروه دوم (II) تنها شامل ژنوتیپ G15 بود، این ژنوتیپ بیشترین مقادیر شدت نهایی و سطح زیر منحنی استاندارد شده پیشرفت بیماری‌های لکه برگی را به خود اختصاص داد. ژنوتیپ‌هایی که آلودگی بالایی دارند برای انتخاب به عنوان منبع مقاومت و معرفی توصیه نمی‌گردند (۵) و گروه سوم (III) شامل دو ژنوتیپ G13 و G14 (ارقام شادان و مهتا) بود، این دو رقم کمترین مقادیر شاخص‌های حساسیت به هر سه بیماری مورد مطالعه را داشتند (جدول ۵) و منابع ژنتیکی ایده‌آلی از لحاظ مقاومت به بیماری محسوب می‌شوند. بیشتر پروژه‌های اصلاح نژاد بر تولید ژنوتیپ‌های مقاوم برای یک بیماری اقتصادی واحد تمرکز دارند، علیرغم چالش‌های اصلاح مقاومت به بیماری، پیشرفت‌های زیادی در زمینه شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری حاصل شده‌است (۲۳). نظر به اینکه ژنوتیپ‌های گروه دوم و سوم از نظر صفات مرتبط با مقاومت به بیماری‌های لکه برگی باقلا به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین را به خود اختصاص دادند، می‌توانند به عنوان والدین مناسب جهت تهیه جمعیت‌های مناسب برای ترسیم نقشه ژنتیکی استفاده شوند (۵). گروه چهارم (IV) شامل ۳ ژنوتیپ بود، اعضای این گروه سطح زیر منحنی استاندارد شده پیشرفت بیماری (sAUDPC) کمتر از گروه‌های اول و دوم و بیشتر از گروه سوم داشتند و در سطح متوسط مقاومت

¹ Wilks' Lambda Test

مقاومت بیشتری دارند. شیخ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه ۶۴ ژنوتیپ باقلا در دزفول و گرگان نشان دادند که تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین ژنوتیپ‌های باقلا وجود داشته و بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد و مقاومت به بیماری ژنوتیپ‌ها در پنج گروه قرار گرفتند (۱۸). ژنوتیپ‌های گروه چهارم به شرط سازگاری با شرایط محیطی، برای سایر مناطق نیز قابل توصیه هستند. با توجه به عدم وجود تنوع در عامل بیماری‌زا (۴ و ۲۵)، ارقام مقاوم را می‌توان در اصلاح نباتات جهت انتقال مقاومت به ارقام پرمحصول و حساس استفاده نمود.

به بیماری قرار گرفتند (جدول ۵). رقم فیض و ژنوتیپ‌های G8 و G10 در این گروه قرار داشتند. بروز مقاومت در برخی ژنوتیپ‌ها، به علت ژن‌های مقاومت بزرگ اثر است که به صورت اختصاصی - نژادی عمل می‌کنند (۲۴ و ۲۵). ژنوتیپ‌هایی با سطح متوسط مقاومت، معمولاً دارای ژن‌های مقاومت کوچک اثر هستند که به صورت افزایشی عمل می‌کنند، این نوع مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زیادی دوام می‌آورند و بایستی بیش‌تر مورد توجه قرار گیرند (۵). مقایسه دو گروه اول و چهارم نشان داد، گروه چهارم مقاومت بیشتری نسبت به بیماری‌های لکه برگ دارد و تقریباً به هر سه بیماری مقاومت دارد، ولی گروه اول به یک یا دو بیماری



شکل ۲- دندروگرام ژنوتیپ‌های باقلا بر اساس روش ward و بر مبنای صفات DS و sAUDPC

Figure 2. Dendrogram generated by cluster analysis (Ward) based on Disease Severity and sAUDPC traits

جدول ۵- مقادیر میانگین و درصد انحراف از میانگین کل برای ۴ گروه حاصل از دندروگرام (شکل ۲)

Table 5. Mean values and Percentage deviation from the Grand Mean for the 4 groups from the dendrogram (Figure 2)

گروه	تعداد ژنوتیپ	میانگین گروه						درصد انحراف از میانگین کل					
		mean						Percentage deviation from the Grand Mean					
Group	Number of genotype	DS(B)	sAUDPC(B)	DS(Al)	sAUDPC(Al)	DS(S)	sAUDPC(S)	DS(B)	sAUDPC(B)	DS(Al)	sAUDPC(Al)	DS(S)	sAUDPC(S)
I	9	70.2	41.4	57.0	26.0	57.2	31.4	10.3	1.3	32.2	32.1	24.8	31.9
II	1	98.1	71.4	59.3	30.7	50.0	26.4	54.2	74.6	37.3	56.3	9.2	11.0
III	2	36.3	23.3	12.7	5.7	25.7	11.5	-43.0	-42.9	-70.6	-70.9	-43.8	-51.5
IV	3	49.9	27.4	43.6	16.2	50.3	25.9	-21.5	-33.0	1.1	-17.5	9.8	8.7

B: شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی، sAUDPC(B): دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی، Al: شدت نهایی بیماری لکه برگ‌ی آلترناریایی، sAUDPC(Al): دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگ‌ی آلترناریایی، S: شدت نهایی بیماری سوختگی استمفیلیومی، sAUDPC(S): دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری سوختگی استمفیلیومی.

B: Disease severity of chocolate spot, sAUDPC(B): Standardized area under the disease progress curve of chocolate spot, Al: Disease severity of Alternaria leaf spot, sAUDPC(Al): Standardized area under the disease progress curve of Alternaria leaf spot, S: Disease severity of stemphyllium blight, sAUDPC(S): Standardized area under the disease progress curve of Stemphyllium blight.

عملکرد-صفت برای هر ژنوتیپ انجام می‌شود (۲۵). در میان روش‌های متعدد برای ترسیم بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT) نمای کدام ژنوتیپ در کجا بهترین راه برای تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد، در این روش ژنوتیپ‌ها در رأس یا داخل چند ضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های G12، G10، G14، G13 و G15 در رئوس چند ضلعی قرار گرفتند (شکل ۳). این ژنوتیپ‌ها بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند و بهترین ژنوتیپ‌ها برای بعضی از ترکیبات عملکرد-صفت یا همه ترکیبات عملکرد-صفت محسوب می‌شوند. بخش اول حاوی ترکیبات صفت عملکرد دانه $\times$ ارتفاع بوته (A)، ترکیب عملکرد دانه $\times$ تعداد پنجه (B)، ترکیب عملکرد دانه $\times$ تعداد دانه در غلاف (D) و ترکیب عملکرد دانه $\times$ وزن صد دانه (E) بودند و ژنوتیپ‌های G10 و G12 در رأس قرار گرفتند (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که در این بخش قرار دارند به طور همزمان برای صفات فوق‌الاصلاح شده‌اند. انتخاب برای هر کدام از این صفات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی افزایش عملکرد تاثیر

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT): برای صفات شدت بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری مقادیر کمتر نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ مورد نظر است که این موضوع در روش GT biplot لحاظ نمی‌شود، همچنین با توجه به پیچیدگی ارتباط بین صفات و ژنوتیپ‌ها، روش GT biplot ابزار قدرتمندی برای انتخاب یا رد یک ژنوتیپ نمی‌باشد (۱۲). به دلیل محدودیت‌های بای‌پلات ژنوتیپ $\times$ صفت از روش جدید ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT) برای در نظر گرفتن صفات به طور همزمان با عملکرد استفاده شد (۱۲). در روش بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT)، دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۴/۱ و ۲۴/۵ درصد در مجموع ۸۸/۶ درصد از کل تنوع داده‌های استاندارد شده را توجیه کردند (شکل ۳). این درصد بالا نشان دهنده اعتبار بالای این روش در توجیه تنوع کل می‌باشد. فرمول بای‌پلات GYT یک بسط ساده از تجزیه و تحلیل بای‌پلات معمولی GT است که امکان بررسی همزمان همه صفات را با توجه به عملکرد دانه فراهم می‌کند. این کار با ایجاد ترکیبات جدید

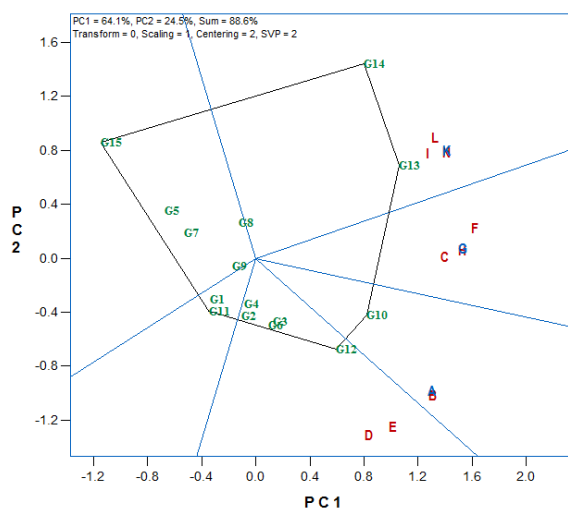
بیماری فوزاریوم سنبله و لکه برگی باکتریایی در گندم را شناسایی کردند (۲۶).

ارزیابی همبستگی بین صفات: در این روش همبستگی بین صفات بر اساس مقادیر ترکیبات صفت و عملکرد به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود (شکل ۳). بردارهایی که از مبدأ بای‌پلات سرچشمه می‌گیرند، به علائم صفات وصل می‌شوند، روابط بین و درون صفات و تنوع داده‌های استاندارد شده را توضیح می‌دهد (۲۶ و ۲۷). از آنجایی که کسینوس زاویه بین بردارهای هر دو صفت ضریب همبستگی بین آن‌ها برآورد می‌کند، این شکل بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است. 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 (۲۷ و ۲۸). 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 (۲۹). نمایش برداری بای‌پلات GYT، همبستگی بالای ترکیب عملکرد-تعداد شاخه با ترکیب عملکرد-ارتفاع بوته، ترکیب عملکرد-وزن صد دانه با ترکیب عملکرد-تعداد دانه در غلاف را نشان داد. در این بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد، ترکیب عملکرد-دامنه-ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری سوختگی استمفیلیومی و ترکیب عملکرد-دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی (H)، شدت نهایی بیماری لکه برگی آلترناریایی (I)، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی آلترناریایی (K)، عملکرد-شدت نهایی بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی (L)، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی (N) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند که با نتایج حاصل از تجزیه کلاستر و مقایسه میانگین صفات در تطابق است. ژنوتیپ G15 در قسمتی از چند ضلعی قرار گرفت که هیچ ژنوتیپی که هیچ صفتی قرار نگرفته است، بنابراین ضعیف‌ترین ژنوتیپ از لحاظ ترکیب عملکرد و صفات مورد بررسی می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه کلاستر و مقایسه میانگین نیز این ژنوتیپ حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به بیماری محسوب می‌شود. ژنوتیپ‌های G13 و G14 (ارقام شادان ومهتا) از لحاظ عملکرد دانه و تحمل به بیماری در شرایط مطلوبی قرار دارند. مریک و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از این روش سه ژنوتیپ دارای عملکرد زیاد و مقاوم به

خواهد داشت (۶ و ۱۱). نتایج سایر تحقیقات نیز حاکی از نقش مهم صفات تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه بر روی افزایش عملکرد باقلا می‌باشد (۳). لازم به ذکر است، صفات طول غلاف و وزن صد دانه نقش مهمی در بازار پسندی باقلا دارند و معرفی ارقامی با طول غلاف و وزن صد دانه زیاد توأم با عملکرد مطلوب یکی از الویت‌های برنامه‌های به‌نژادی باقلا می‌باشد (۱۸ و ۲۶). در بخش دوم چند ضلعی، ژنوتیپ‌های G13 و G14 (ارقام مهتا و شادان) در رأس قرار داشتند که از لحاظ ترکیب عملکرد دانه با تعداد غلاف در بوته (C)، شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی (F)، دامنه‌ی تغییرات سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی (G)، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی (H)، شدت نهایی بیماری لکه برگی آلترناریایی (I)، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی آلترناریایی (K)، عملکرد-شدت نهایی بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی (L)، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی (N) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند که با نتایج حاصل از تجزیه کلاستر و مقایسه میانگین صفات در تطابق است. ژنوتیپ G15 در قسمتی از چند ضلعی قرار گرفت که هیچ ژنوتیپی که هیچ صفتی قرار نگرفته است، بنابراین ضعیف‌ترین ژنوتیپ از لحاظ ترکیب عملکرد و صفات مورد بررسی می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه کلاستر و مقایسه میانگین نیز این ژنوتیپ حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به بیماری محسوب می‌شود. ژنوتیپ‌های G13 و G14 (ارقام شادان ومهتا) از لحاظ عملکرد دانه و تحمل به بیماری در شرایط مطلوبی قرار دارند. مریک و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از این روش سه ژنوتیپ دارای عملکرد زیاد و مقاوم به

بیماری لکه برگي سوختگی استمفیلیومی، بیشترین طول بردار را داشتند و در نتیجه بیشترین نقش را در تمایز ژنوتیپ‌ها دارد. همبستگی بالای بین ترکیبات عملکرد دانه و صفات فوق نشان‌دهنده اهمیت این صفات در افزایش عملکرد است (شکل ۴). یکی از مزایای بای پلات این است که می‌توان با استفاده از آن ترکیبات اضافی را به منظور کاهش هزینه اندازه‌گیری صفات آزمایشات مزرع‌ای شناسایی نمود (۲۹). با توجه به همبستگی بالای ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه و عملکرد غلاف می‌توان یکی از این صفات را معیار انتخاب قرار داده و بر اساس آن ژنوتیپ‌های برتر را انتخاب کرد.

برگی آلترناریایی، سپس بیماری سوختگی استمفیلیومی ظاهر می‌شود و با توجه به اینکه عامل بیماری سوختگی استمفیلیومی (*S. botrysum*)، یک قارچ ساپروفیت است این نتیجه چندان دور از انتظار نبود (۲۱). این همبستگی نشان داد، شرایط مساعد برای عامل قارچی این دو بیماری تا حد زیادی یکسان بوده و افزایش میزان هر یک از پاتوژن‌ها و خسارت به گیاه به شیوع و افزایش آلودگی بیماری‌های دیگر نیز کمک کرده است (۵ و ۲۱). ترکیب صفت عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در غلاف، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، وزن صد دانه، دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت

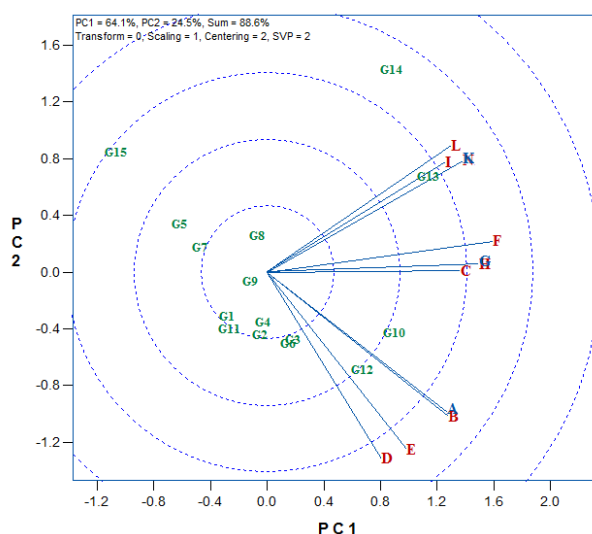


شکل ۳- نمایش چند ضلعی بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت ژنوتیپ‌های باقلا

Figure 3. Polygon view of the genotype × yield × trait biplot of faba bean genotypes.

A: ترکیب عملکرد - ارتفاع بوته، B: ترکیب عملکرد - تعداد پنجه، C: ترکیب عملکرد - تعداد غلاف در بوته، D: ترکیب عملکرد - تعداد دانه در غلاف، E: ترکیب عملکرد - وزن صد دانه، F: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی، H: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی، I: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه برگي آلترناریایی، K: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگي آلترناریایی، L: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه برگي سوختگی استمفیلیومی، N: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگي سوختگی استمفیلیومی.

A: Yield combination - plant height, B: Yield combination - number of tillers, C: Yield combination - number of pods/plant, D: Yield combination - number of seeds per pod, E: Yield combination/ 100seed weight, F: Yield combination - DS chocolate spot, H: Yield combination - sAUDPC of chocolate spot disease progression, I: Yield combination - DS of Alternaria leaf spot disease, K: Yield combination - sAUDPC of Alternaria leaf spot disease progression, L: Yield combination - DS of stemphyllium leaf spot disease, N: Yield combination - sAUDPC of Stemphyllium leaf spot disease



شکل ۴- نمایش برداری بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت ژنوتیپ‌های باقلا

Figure 4. Vector view of the genotype × yield × trait biplot of faba bean genotypes.

A: ترکیب عملکرد - ارتفاع بوته، B: ترکیب عملکرد - تعداد پنجه، C: ترکیب عملکرد - تعداد غلاف در بوته، D: ترکیب عملکرد - تعداد دانه در غلاف، E: ترکیب عملکرد - وزن صد دانه، F: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه شکلاتی، H: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه شکلاتی، I: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه برگی آلترناریایی، K: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی آلترناریایی، L: ترکیب عملکرد - شدت نهایی بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی، N: ترکیب عملکرد - دامنه‌ی تغییرات سطح استاندارد شده‌ی زیر منحنی پیشرفت بیماری لکه برگی سوختگی استمفیلیومی.

A: Yield combination - plant height, B: Yield combination - number of tillers, C: Yield combination - number of pods/plant, D: Yield combination - number of seeds per pod, E: Yield combination/100seed weight, F: Yield combination - DS chocolate spot, H: Yield combination - sAUDPC of chocolate spot disease progression, I: Yield combination - DS of Alternaria leaf spot disease, K: Yield combination - sAUDPC of Alternaria leaf spot disease progression, L: Yield combination - DS of stemphyllium leaf spot disease, N: Yield combination - sAUDPC of Stemphyllium leaf spot disease

رتبه بندی ژنوتیپ‌ها: در این مطالعه از نمودار مختصات (Average Tester Coordinate) ATC برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد - صفت استفاده شد (شکل ۵). ژنوتیپ در طول محور افقی ATC بر اساس ترکیب عملکرد - صفت رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده مقادیر بالاتر است. بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد صفت به‌ترتیب ژنوتیپ‌های $G12 < G14 < G10 < G13$ بودند (شکل ۵). شاخص GYT بر اساس میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها محاسبه شد (جدول ۴). نمای مختصات میانگین تستر (ATC) از بای پلات GYT، 15 ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر از میانگین طبقه‌بندی کرد و به صورت $G13 > G10 > G14 > G12 > G3 > G6 > G4 > G2 >$

رتبه بندی ژنوتیپ‌ها: در این مطالعه از نمودار مختصات (Average Tester Coordinate) ATC برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد - صفت استفاده شد (شکل ۵). ژنوتیپ در طول محور افقی ATC بر اساس ترکیب عملکرد - صفت رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده مقادیر بالاتر است. بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد صفت به‌ترتیب ژنوتیپ‌های $G12 < G14 < G10 < G13$ بودند (شکل ۵). شاخص GYT بر اساس میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها محاسبه شد (جدول ۴). نمای مختصات میانگین تستر (ATC) از بای پلات GYT، 15 ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر از میانگین طبقه‌بندی کرد و به صورت $G13 > G10 > G14 > G12 > G3 > G6 > G4 > G2 >$

خواهدشد، زیرا شاخص GYT بر این مفهوم استوار است که عملکرد مهمترین صفت است و دیگر صفات تنها زمانی ارزشمند هستند که با عملکرد بالا همبستگی داشته باشند. بنابراین گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GYT مانع انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین خواهدشد (۱۷). به عبارت دیگر برتری یک ژنوتیپ از طریق ارزش آن از نظر ترکیب عملکرد با دیگر صفات سنجیده می‌شود. در انتخاب بر اساس شاخص‌های کلاسیک، هر صفت به طور مستقل سنجیده می‌شود، در نتیجه ممکن است ژنوتیپی انتخاب شود که مقاوم به بیماری بوده ولی از عملکرد پایینی برخوردار باشد. چنین ژنوتیپی والد مناسبی در برنامه‌های دورگ‌گیری و اصلاح برای مقاومت به بیماری خواهد بود، اما قابلیت معرفی به عنوان یک رقم جدید زراعی را نخواهند داشت (۳۰).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که روش بای پلات GYT ابزاری کارآمد برای شناسایی ژنوتیپ‌های ایده آل باقلا است که تعادل مناسبی بین عملکرد بالا و مقاومت به بیماری‌های قارچی برقرار می‌کنند. این آزمایش تحت شرایط عاری از علف هرز و با کنترل کامل آفات انجام شد. در این شرایط، عمده‌ترین تنش زیستی متحمل شده، آلودگی بیماری‌های لکه برگ بود که به شدت تحت تأثیر ژنوتیپ و بارندگی قرار

داشت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ صفات زراعی و مقاومت به بیماری نشان دادند. بر اساس شاخص GYT و نمای ATC، ژنوتیپ G10 (لاین HBP/SOE/99) به دلیل داشتن بالاترین امتیاز در ترکیب عملکرد با اجزای عملکرد (تعداد شاخه و ارتفاع) و مقاومت نسبی خوب به بیماری‌ها، به عنوان برترین ژنوتیپ معرفی شد. ژنوتیپ G12 (رقم فیض) نیز به دلیل ترکیب مطلوب عملکرد با وزن صد دانه و تعداد دانه در غلاف در رتبه بعدی قرار گرفت. ارقام شادان (G13) و مهتا (G14) اگرچه از نظر عملکرد در رتبه‌های بعدی بودند، اما به عنوان منابع ژنتیکی مقاوم به — سه بیماری مورد مطالعه شناسایی شدند. بنابراین، ژنوتیپ G10 برای معرفی به عنوان رقم جدید یا استفاده به عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی جهت تلفیق عملکرد و مقاومت پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پروژه شماره ۹۷۱۲۵۱-۲۸۱-۰۳-۵۷-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد. بدینوسیله از حمایت مالی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همکاری صمیمانه همکاران مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Bangar, S. P., & Kajla, P. (2022). Introduction: Global status and production of faba bean. In: Punia. Bangar, S., & Bala Dhull, S. (Eds) Faba bean: chemistry, properties and functionality. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2_1
2. Xiao, J. X., Zhu, Y. A., Bai, W. L., Liu, Z. Y., Li, T. A. N., & Zheng, Y. (2021). Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11), 3012–3025. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63489-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63489-X)
3. Barilli, E., Luna, P., Flores, F., & Rubiales, D. (2025). Agronomic performance of faba bean in mediterranean environments. *Agronomy*, 15, 412. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020412>

4. Tivoli, B., Baranger, A., Avila, C. M., Banniza, S., Barbetti, M., Chen, W., Davidson, J., Lindeck, K., Kharrat, M., Rubiales, D., Sadiki, M., Sillero, J. C., Sweetingham, M., & Muehlbauer, F.J. (2006). Screening techniques and sources of resistance to foliar diseases caused by major necrotrophic fungi in grain legumes. *Euphytica*, 147, 223–253.
5. Sheikh, F., Dehghani, H., & Aghajani, M. A. (2015). Screening faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for resistance to Stemphylium blight in Iran. *European Journal of Plant Pathology*, 143 (4), 677-689.
6. Sahile, S., Fininsa, C., Sakhuja, P. K., & Ahmed, S. (2008). Effect of mixed cropping and fungicides on chocolate spot (*Botrytis fabae*) of faba bean (*Vicia faba* L.) in Ethiopia. *Crop Protection*, 27(2), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.06.003>
7. Roman, B., Satovic, Z., Avila, C. M., Rubiales, D., Moreno, M. T., & Torres, A. M. (2003). Locating genes associated with Ascochyta fabae resistance in *Vicia faba* L. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, 85-90.
8. Villegas-Fernández, A. M., Sillero, J. C., Emeran, A. A., Winkler, J., Raffiot, B., Tay, J., Flores, F., & Rubiales, D. (2009). Identification and multi-environment validation of resistance to Botrytis fabae in *Vicia faba*. *Field Crops Research*, 114 (1), 84-90.
9. Rubiales, D., & Khazaei, H. (2022). Advances in disease and pest resistance in faba bean. *Theoretical and Applied Genetics*, 135, 3735–3756.
10. Araújo, M., Santos, S., Aragão, W., Damasceno-Silva, K., & Rocha, M. (2021). Selection of superior cowpea lines for multi-traits and adaptabilities to the Piauí semi-arid using genotype by yield×trait biplot analysis. *Ciencia e Agrotecnologia*, 45, 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145011921>
11. Yan, W., & Fregeau-Reid, J. (2018). Genotype by yield×trait (GYT) Biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, 8, 8242. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26688-8>
12. Yan, W., Frégeau-Reid, J., Mountain, N., & Kobler, J. (2019). Genotype and management evaluation based on Genotype by Yield×Trait (GYT) analysis. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 1, 1-21. <https://doi.org/10.20900/cbgg20190002>
13. Rahmati, M., Hosseinpour, T., & Ahmadi, A. (2020). Assessment of interrelationship between agronomic traits of wheat genotypes under rain-fed conditions using double and triple biplots of genotype, trait and yield. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 9, 1-20. <https://doi.org/10.22092/IDAJ.2020.122220.284> [In Persian]
14. Sofi, P., Saba, I Asmat, A., & Khalid, R. (2021). Comparative efficiency of GYT approach over gt approach in genotypic selection in multiple trait evaluations: case study of common bean (*phaseolus vulgaris*) grown under temperate Himalayan conditions. *Agricultural Research*, 11, 373-381 <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00577-5>
15. Ebrahimi, L. (2023). Genotype by yield×trait (GYT) biplot approach to evaluate resistance of soybean cultivars to Helicoverpa armigera Hübner under natural infestation conditions. *Phytoparasitica*, 51, 909–918. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01078-7>
16. Fatanatvash, S., Bernousi, I., Rezaie, M., Sonmez, O., Razzaghi, S., Abdi, H. (2024). Selection of superior bread wheat genotypes based on grain yield, protein, iron and zinc contents under normal irrigation and terminal drought stress conditions, *Ecological Genetics and Genomics*, Volume 31, 100230, ISSN 2405-9854, <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100230>.
17. Merrick, L., Glover, K., Yabwalo, D., & Byamukama, E. (2020). Use of genotype by yield×trait (GYT) Analysis to select hard red spring wheat with elevated performance for agronomic and disease resistance traits. *Crop Breeding Genetics and Genomics*, 10, 20900/cbgg20200009.
18. Sheikh, F., Sekhavat, R., & Aghajani, M. A. (2022). 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), 131-14. <https://doi:10.52547/jcb.14.44.131>. (Translated in Persian)

19. Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons, New York. 532 p.
20. Gela, T. S., Bruce, M., Chang, W., Stoddard, F.L., Schulman, A. H., Vandenberg, A., & Khazaei, H. (2022). Genomic regions associated with chocolate spot (*Botrytis fabae* Sard.) resistance in faba bean (*Vicia faba* L.). *molecular breeding*, 42, 35.
21. Aghajani, M. A. (2009). Stemphylium leaf blight of broad bean in Iran. *Journal of plant pathology*, 91, 4-5.
22. 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 <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19563.2457>. [In Persian]
23. Maalouf, F., Abou-Khater, L., Babiker, Z., Jighly, A., Alsamman, A. M., Hu, J., Ma, Y., Rispail, N., Balech, R., & Hamweih, A. (2022). Genetic Dissection of Heat Stress Tolerance in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Using GWAS. *Plants*, 11, 1108.
24. Elshafei, A. A. M., Amer, M. A. E., Elenany, M. A. M., & Abd Elhameed Helal, A. G. (2019). Evaluation of the genetic variability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using agronomic traits and molecular markers. *Bulletin of the National Research Centre*, 43, 106-115. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0145-3>
25. Merrick, L., Glover, K., Yabwalo, D., & Byamukama, E. (2020). Use of genotype by yield×trait (GYT) Analysis to select hard red spring wheat with elevated performance for agronomic and disease resistance traits. *Crop Breeding Genetics and Genomics*, 10, 20900/cbgg20200009.
26. Koc, S., Orak, A., Tenikecier, H. S., & Saglam, N. (2018). Relationship between seed yield and yield chracteristics in faba bean (*Vicia faba* L.) by GGE-biplot analysis. *Journal of Life Sciences*, 12, 105-110. <https://doi.org/10.17265/1934-7391/2018.02.005>
27. Sabaghnia, N., Mohebodini, M., & Janmohammadi, M. (2016). Biplot analysis of trait relations of spinach (*Spinacia oleracea* L.) landraces. *Genetika*, 48, 675-690. <https://doi.org/10.2298/GENSR1602675S>.
28. Sheikh, F. (2025). Assessment of the Interrelationship between Agronomic Traits of Faba Bean Genotypes using double and triple biplots of the genotype, trait and yield. *Journal of Crop Breeding*, 17(2), 29 -42. DOI: 10.61 8 8 2/jcb.2024.1566 [In Persian]
29. Bakhshi, B., Amiri Oghan, H., Rameeh, V., Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Askari, A., Faraji, A., G. Ghodrati, G., Fanaei, H., Danaei, A., Kazerani, K. N., Payghamzadeh, K., Kiani, D., Sadeghi, H., Shariati, F., Dalili, A., & Aghajani, M.A. (2023). Trait profiling and genotype selection in oilseed rape using genotype by trait and genotype by yield×trait approaches. *Food Science & Nutrition*, 11, 1-13. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3290>
30. Webb, A., Reynolds, T. R., Wright, T. I. C., Caiazzo, R., Lloyd, D. C., Thomas, J. E., & Wood, T. A. (2024). Identification of Faba bean genetic loci associated with quantitative resistance to the fungus *Botrytis fabae*, causal agent of chocolate spot. *Frontiers of plant science*, 15, 1383396.