University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method

Mohammadreza Dehghani[1] | Mozhgan Hashemi[2]✉ | Maryam Dahajipour Heidarabadi[3] | Shahram Mohammadi[4]

1. Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: M.r.dehghani@vru.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: Mozhgan.Hashemi@modares.ac.ir
3. Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: m.dahaji@vru.ac.ir
4. Department of Genetics and Plant Production, University of Shahrekord, Iran. E-mail: Shmohammadi@sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 6 November 2021
Received in revised form
28 June 2022
Accepted 3 April 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:
Bilinear model
General compatibility
Genotype by environment interaction
Multivariate method
Stability analysis

ABSTRACT

Objective: It is quite effective to identify high-yielding and stable genotypes and evaluate different genotypes in various environmental conditions.

Methods: This study was conducted to evaluate the response of 12 imported faba bean genotypes with the application of gibberellic acid hormone (environmental factor) by the GGE-biplot method. For this purpose, genotypes were evaluated in a complete randomized design with three replications during autumn of 2018 in the research greenhouse of Shahrekord University. Gibberellic acid was sprayed at concentrations of 0, 10, and 30 ppm from the 2-leaf to flowering stages on a weekly basis.

Results: The analysis of variance showed that the effects of genotypes, gibberellic acid, and their interaction effects were significant in grain yield. The genotypes by the gibberellic acid sum of squares explained 22.33% of total grain yield variations. Using the GGE-biplot model, the first two components accounted for 86.5% of total grain yield variations due to the effect of genotype and the interaction effects between genotypes and gibberellic acid hormone.

Conclusion: Based on the analysis of GGE- biplots, the grain yield of genotypes C2, C4, C10, and C6 was higher than other genotypes. Furthermore, they had appropriate relative responses to the application of gibberellic acid hormone than other genotypes. Regarding the need for genotypes with high yield potential to increase in seed yield, they can be used for breeding this product. The eight remaining genotypes had lower grain yields with the most inappropriate responses to the application of gibberellic acid hormone, identified as undesirable genotypes.

Cite this article: Dehghani, M. R., Hashemi, M., Dahajipour Heidarabadi, M., & Mohammadi, Sh. (2023). Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 619-631. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.333507.2635

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.333507.2635

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

بازدهی کاربرد اسیدجیبرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به‌روشGGE – بای‌پلات

محمدرضا دهقانی[۱] | مژگان هاشمی[۲]✉ | مریم دهجی‌پور حیدرآبادی[۳] | شهرام محمدی[۴]

۱. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: M.r.dehghani@vru.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، پردیس دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Mozhgan.Hashemi@modares.ac.ir

۳. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: m.dahaji@vru.ac.ir

۴. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال بختیاری، ایران. رایانامه: Shmohammadi@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
اثر متقابل ژنوتیپ و محیط
تجزیه پایداری
روش‌های چند متغیره
سازگاری عمومی
مدل ضرب‌پذیر

چکیده

هدف: ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف، تحت شرایط متفاوت محیطی، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب، بسیار مؤثر است.

روش پژوهش: به‌همین منظور برای ارزیابی پاسخ ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا تحت تأثیر کاربرد هورمون اسیدجیبرلیک (به‌عنوان یک عامل محیطی) به‌روش GGE- بای‌پلات، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۷ در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام از مرحله دو برگی تا مرحله گل‌دهی بوته‌ها به‌صورت هفتگی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس از تأثیر معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ، هورمون و تعامل مشترک آن‌ها روی عملکرد دانه ارقام موردبررسی حکایت داشت. اثر متقابل معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ و هورمون اسیدجیبرلیک به تنهایی ۲۲/۳۳ درصد تغییرات کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی را به خود اختصاص داد. دو مؤلفه اول حاصل از تحلیل مدل GGE- بای‌پلات در مجموع ۸۶/۵ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه ناشی از ژنوتیپ و تعامل آن با هورمون اسیدجیبرلیک را بیان کردند.

نتیجه‌گیری: براساس تحلیل بای‌پلات‌های ترسیم‌شده مبتنی بر این دو مؤلفه ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با عملکرد بالاتر از میانگین کل (۱۷/۶۴) و واکنش نسبی مناسب به هورمون اسیدجیبرلیک، مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط اجرای این آزمایش معین شدند. با توجه به نیاز به ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکردی بالا جهت افزایش عملکرد دانه، از این ژنوتیپ‌ها برای به‌نژادی این محصول می‌توان بهره برد. هشت ژنوتیپ باقی‌مانده با عملکرد کم‌تر از میانگین کل، به کاربرد هورمون واکنش خاصی نشان نداده و براساس این مطالعه ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند.

استناد: دهقانی، ؛ هاشمی، مژگان؛ دهجی‌پور حیدرآبادی، مریم؛ محمدی، شهرام (۱۴۰۲). بازدهی کاربرد اسیدجیبرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به‌روش GGE- بای‌پلات. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۱۹-۶۳۱. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.333507.2635

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

در میان حبوبات، باقلا (*Vicia faba* L.) به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود. غلاف‌های تازه و دانه‌های خشک باقلا به‌دلیل ارزش غذایی که در بین سبزی‌ها دارد، برای تغذیه انسان در سراسر جهان مصرف می‌شود (Semida *et al*., 2014). باقلا سرشار از پروتئین (تا ۳۵ درصد ماده خشک)، کربوهیدرات (۶۸-۵۱ درصد ماده خشک) و مواد مغذی معدنی مانند پتاسیم، آهن، کلسیم، منیزیم و روی است (Rady *et al*., 2021).

در مطالعه‌ای به‌روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و تعامل ضرب‌پذیر، ۱۶ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط ارزیابی و ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار شناسایی شدند. در این مطالعه هم‌چنین ژنوتیپ‌های سازگار با محیط‌های خاص تعیین و ارزیابی شدند (Temesgen *et al*., 2015). نتایج ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود نشان داد که براساس تحلیل نمودارهای GGE- بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G6، G4 و G11 از عملکرد دانه و پایداری بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. ژنوتیپ G6 بهترین لاین در گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری بود. هم‌چنین ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 به عنوان لاین‌های دارای سازگاری عمومی شناسایی شدند (کانونی و فرایدی، ۱۳۹۵). در بررسی دیگری اثر متقابل ژنوتیپ و سال روی عملکرد دانه برخی لاین‌های باقلا به روش‌های ناپارامتری مطالعه شد و ژنوتیپ‌های G5 و G8 به‌ترتیب با میانگین رتبه ۱/۳۳ و ۲، دارای کم‌ترین رتبه و کم‌ترین انحراف معیار رتبه و بیش‌ترین پایداری تعیین شدند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس و روش‌های مختلف تجزیه پایداری و تجزیه کلاستر، ژنوتیپ‌های G5 و G8 در سال‌های مختلف، پایداری بسیار خوبی داشته و از نظر عملکرد دانه نیز نسبت به شاهد برتری داشتند (سرپرست و شیخ، ۱۳۹۵). در بررسی حاضر، از روش مؤثر و گرافیکی GGE- بای‌پلات برای تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ با غلظت هورمون اسیدجیبرلیک (به‌عنوان یک عامل محیطی) استفاده شد. هدف از این پژوهش ارزیابی ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا از نظر عملکرد دانه و چگونگی پاسخ به مصرف هورمون اسیدجیبرلیک به‌روش چند متغیره GGE- بای‌پلات بود، تا درصورت امکان بتوان، از آن‌ها جهت پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی این محصول بهره برد.

۲. پیشینه پژوهش

گیاه برای تکمیل رشد به تنظیم‌کننده‌های رشد نیاز دارد، زیرا این مواد در فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه نقش مهمی دارند. تیمار گیاهان با یک تنظیم‌کننده رشد معین، منجر به بهبود ساختار گیاه، کیفیت محصول و تولید دانه می‌شود (Fadhil & Almassoody, 2019). افزایش کمیت و کیفیت محصولات با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، ممکن است به‌علت فعال‌سازی مکانیسم‌های متعدد مرتبط با رشد گیاه و متابولیسم آن باشد (Bora & Sarma, 2006). نتایج پژوهش‌ها روی گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که کاربرد خارجی اسیدجیبرلیک می‌تواند بهره‌وری را در فرایندهای فیزیولوژیکی مهم افزایش دهد (Miceli *et al*., 2019; Lin *et al*., 2020; Rahman *et al*., 2020; Javid *et al*., 2022).

اسیدجیبرلیک در بسیاری از مسیرهای متابولیکی تأثیرگذار مانند تولید و تجزیه کلروفیل، جابه‌جایی مواد فتوسنتزی، متابولیسم نیتروژن و توزیع مجدد نیتروژن نقشی اساسی دارد (Miceli *et al*., 2019). هم‌چنین اسیدجیبرلیک با افزایش بیان برخی ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های دیواره سلولی مانند زایلوگلوکان اندوترانس‌گلیکوزیلاز[۱]، زایلوگلوکان اندوترانسگلیکوزیلاز/هیدرولاز[۲]، اکسپانسین‌ها و پکتین متیل‌استراز[۳]، شل‌شدن دیواره سلولی و در نتیجه انبساط آن را موجب

۱. Xyloglucan endotransglucosylase (XET)

۲. Xyloglucan endo-transglycosylase/hydrolase (XTH)

۳. Pectin methylesterase (PME)

می‌شود (Thomas *et al*., 2005). علاوه بر این، کاربرد اسیدجیبرلیک به‌منظور افزایش ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Lee, 2003; Hoseinifard *et al*., 2018). ازآنجایی‌که این هورمون در برگ‌های گیاه تولید و سپس در سراسر گیاه پخش می‌شود استفاده از محلول‌پاشی این هورمون روی برگ‌ها کاربرد زیادی دارد (Dayan *et al*., 2012). نتایج پژوهش‌های متعدد در استفاده از اسیدجیبرلیک به‌صورت محلول‌پاشی بر گیاهان مختلف نشان داده است که نیاز هورمونی، غلظت‌های نسبی و پاسخ در گیاهان مختلف و مراحل رشدی مختلف با توجه به گونه و غلظت اسیدجیبرلیک متفاوت است. به‌عبارتی غلظت اسیدجیبرلیک و حساسیت بافت‌های گیاهی به آن، تعیین‌کننده پاسخ گیاهان به رشدونمو است (Shah & Ahmad, 2006). در بسیاری از پژوهش‌ها محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت کم، به‌منظور تقویت رشد گیاه، بهبود عملکرد و افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی موردتوجه قرار گرفته است (Emongor, 2002; Khan, 2006; Maggio, 2010;). بررسی‌ها نشان می‌دهد محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک روی سه ژنوتیپ باقلا، میزان عملکرد دانه را افزایش داده است (Fadhil & Almassoody, 2019). هم‌چنین استفاده از اسیدجیبرلیک در گیاه باقلا و ماشک، افزایش میزان زیست‌توده و عملکرد دانه را موجب شده است (Ibrahim *et al*., 2007; Abdel & Al-rawi, 2011). در مطالعه‌ای میدانی اثر اسیدجیبرلیک روی لوبیای فرانسوی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش داد. هم‌چنین همبستگی مثبت معنی‌داری در میان پارامترهای رشد و عملکرد و اجزای آن یافت شد (Noor *et al*., 2017).

عملکرد دانه ویژگی کمّی پیچیده‌ای است که به‌وسیله ژن‌های زیادی کنترل می‌شود. تأثیر محیط و اجزای مرتبط، روی این ویژگی بسیار زیاد است (امینی و قنادها، ۱۳۸۱). درک رابطه بین عملکرد گیاهان و محیط، موضوع مهمی برای به‌نژادگران و متخصصان ژنتیک گیاهی بوده است. نمود گیاه یا فنوتیپ مشاهده‌شده، تابعی از ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط زمانی رخ می‌دهد که ارقام یا ژنوتیپ‌های مختلف، به‌شکل متفاوت به محیط‌های گوناگون واکنش نشان دهند. عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط، متشکل از اثر اصلی محیط[۱]، اثر اصلی ژنوتیپ[۲] و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط[۳] است. باوجود این‌که اثر محیط، میزان زیادی از درصد تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌کند و اثرات ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ کوچک‌تر هستند، اما این دو اثر در آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌ها نقش دارند و در زمان گزینش ژنوتیپ‌های برتر، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، باید به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شوند (Moradi & dadras, 2021).

تحلیل درست و اصولی اثر متقابل به رفع این مشکل و گزینش موفق ژنوتیپ‌های برتر کمک قابل‌توجهی می‌کند. برای بررسی پدیده پیچیده اثر متقابل روش‌های زیادی طرح شده است که هر کدام از این روش‌ها قابلیت‌های خاصی دارند. روش‌های یک‌متغیره، تنها از یک جنبه و روش‌های چندمتغیره از جهت‌های بیش‌تری این پدیده را موردارزیابی قرار می‌دهند. علاوه بر روش‌های ناپارامتری و روش‌های یک متغیره پارامتری می‌توان در گروه مدل‌های خطی و جمع‌پذیر، روش تحلیل واریانس و انواع مدل‌های رگرسیونی (Erol *et al*., 2018) و در گروه مدل‌های ضرب‌پذیر، روش‌های مبتنی بر تجزیه مقادیر تکین مانند روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و تعامل ضرب‌پذیر[۴] (AMMI) (Gauch, 2006) و روش چندمتغیره GGE- بای‌پلات (Yan & Tinker, 2006) را نام برد. هر کدام از روش‌های یادشده پدیده پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را از جهت یا جهت‌های معینی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهند به‌همین دلیل از این روش‌ها در بررسی‌ها زیادی استفاده شده است.

---

۱. Environment (E)

۲. Genotype (G)

۳. Genotype× Environment (GE)

۴. Additive Main effects and Multiplicative Interaction effect (AMMI)

۲. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای بررسی واکنش عملکرد دانه ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا با استفاده از هورمون اسیدجیبرلیک، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده و بررسی منابع سه غلظت صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام برای اسیدجیبرلیک در نظر گرفته شد. نام و منشأ ژنوتیپ‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. این ۱۲ ژنوتیپ شامل ارقام زراعی و ژنوتیپ‌های موردبررسی در برنامه‌های به‌نژادی بودند.

جدول ۱. شماره، نام و مبدأ ژنوتیپ‌های باقلای موردبررسی

شماره	نام ژنوتیپ	منشأ
C1	Tatto	چین
C2	114870	نپال
C3	Espensso	روسیه
C4	Cqlumbo	روسیه
C5	Melodie	چین
C6	Aurova	روسیه
C7	Disco	چین
C8	Gracia	چین
C9	Fuego	چین
C10	13284	چین
C11	Alexia	چین
C12	112266	چین

پژوهش حاضر در پاییز سال ۱۳۹۷ در گلخانه‌ی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، اجرا شد. ترکیب خاک گلدان‌ها (قطر دهانه هرگلدان ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر) برحسب گنجایش گلدان‌ها به‌صورت ۵۰ درصد حجم هر گلدان خاک زراعی و ۵۰ درصد دیگر به نسبت برابر ماسه، شن وکود حیوانی بود. محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت‌های موردنظر به‌صورت هفتگی، از مرحله دو تا چهار برگی شروع و تا آغاز مرحله گل‌دهی ادامه پیدا کرد. متوسط دمای حداقل در هنگام محلول‌پاشی ۱۵ و دمای حداکثر ۲۳ درجه سانتی‌گراد بود. برای جلوگیری از اثرات تشعشع، محلول‌پاشی بین ساعات هشت تا ۱۰ صبح صورت گرفت. برای این‌که بوته‌ها با هیچ‌گونه تنشی مواجه نشوند. سایر مراقبت‌های لازم به‌صورت مطلوب و یکسان تا زمان برداشت و ثبت داده‌های مربوط به عملکرد دانه ارقام آزمایشی انجام شد. در هنگام برداشت، محصول دانه هر رقم در هر تکرار به دقت برداشت و پس از هوادهی به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. توزین عملکرد هر رقم به‌طور دقیق انجام و داده‌ها ثبت شدند.

تحلیل واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن با استفاده از برنامه SPSS (نسخه ۱۷) انجام شد. برای انجام تحلیل GGE- بای‌پلات، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (2015)، ماتریس داده‌های عملکرد دانه باقلا مربوط به اثر ژنوتیپ و تعامل آن با هورمون اسیدجیبرلیک، به اجزای آن شامل مؤلفه‌های مربوط به هر ژنوتیپ، مؤلفه‌های مربوط به هر غلظت هورمون و مقادیر تکین تفکیک شد. سپس با استفاده از دو مؤلفه اول و مبتنی بر قواعد مربوط، بای‌پلات‌های موردنیاز در محیط نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) ترسیم شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تحلیل واریانس عملکرد ۱۲ ژنوتیپ باقلای مورد ارزیابی تحت تأثیر سه غلظت متفاوت از هورمون اسیدجیبرلیک (صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام) در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول۲. تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های وارداتی باقلا با کاربرد اسیدجیبرلیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	سهم از تغییرات کل (درصد)
غلظت هورمون	۲	۱۰۸/۳۲**	۷/۶۴
ژنوتیپ	۱۱	۷۵/۸۵**	۲۹/۴۲
ژنوتیپ× هورمون	۲۲	۲۸/۷۸*	۲۲/۳۳
خطای آزمایشی	†۶۹	۱۶/۴۲	

* و **: به‌ترتیب بیانگرمعنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

† تعداد داده‌های گم‌شده= ۳

R Squared = 0.68

این نتایج از تأثیر معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ، هورمون اسیدجیبرلیک و تعامل مشترک آن‌ها روی عملکرد حکایت داشت. چنانچه در جدول (۳) نشان داده شده است به‌علت تأثیر معنی‌دار تعامل ژنوتیپ و غلظت هورمون روی عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های مختلف باقلا واکنش‌های متفاوتی نسبت به محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک نشان دادند.

جدول۳. مقایسه میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هر سطح از غلظت هورمون

ژنوتیپ	میانگین عملکرد دانه در غلظت‌های مختلف هورمون (پی‌پی‌ام)		
	۰	۱۰	۳۰
C1	۰/۴۲۵e	۱/۰۷c	۰/۶۶bc
C2	۱۱/۵۲ab	۱۴/۷۷a	۶/۴۱۵a
C3	۹/۱۱abc	۲/۰۸bc	۰/۱۲c
C4	۱۵/۵۳a	۳/۹۹bc	۱/۶۸bc
C5	۳/۹۳cd	۲/۱۹bc	۰/۲۷bc
C6	۴/۰۲cd	۷/۹۶abc	۰/۲۸bc
C7	۱۰/۰۷ab	۲/۹۲bc	۲/۲۰bc
C8	۳/۶۶cd	۶/۰۰bc	۳/۵۵b
C9	۴/۵۵c	۱/۴۲bc	۱/۶۵bc
C10	۹/۸۶ab	۴/۸۳bc	۱/۰۳bc
C11	۱/۲۴d	۱۰/۲۹ab	۲/۰۸bc
C12	۱/۳۸d	۱/۵۶bc	۰/۹۰bc

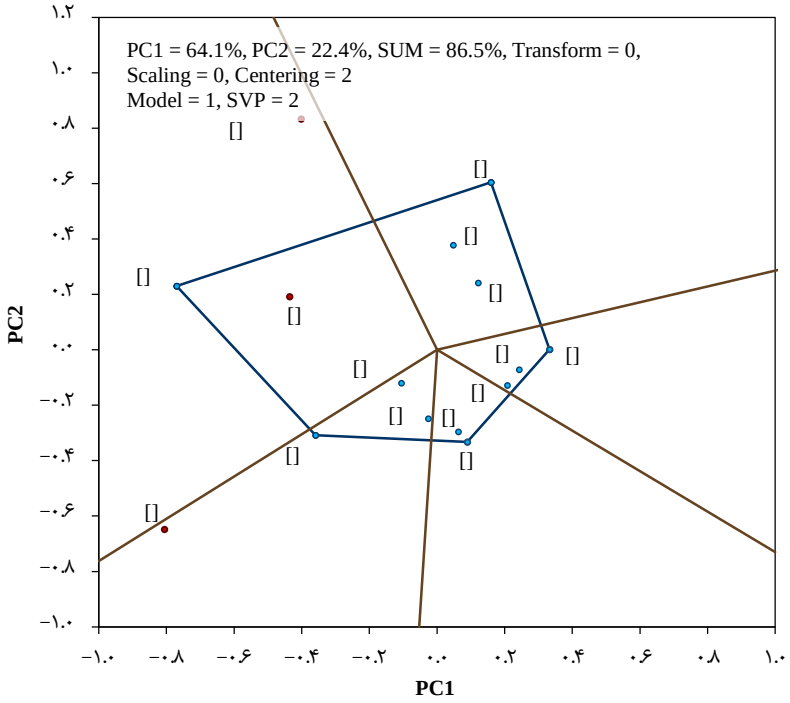
در هر غلظت میانگین‌های فاقد حرف مشترک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند.

در مطالعه حاضر، دو مؤلفه‌ی اول حاصل از تحلیل مدل GGE، در مجموع ۸۶/۵ درصد تغییرات ناشی از ژنوتیپ و تعامل آن با غلظت هورمون اسیدجیبرلیک (۱۴۶۷/۶۴=۸۳۴/۳۷+۶۳۳/۲۷) را بیان کردند. به‌عبارت دیگر، دو بعد مستقل اثر متقابل، ۱۲۶۹/۵ واحد از این تغییرات را باعث می‌شوند. برای تحلیل تغییرات ناشی ازاین دو بعد، به‌روش بای‌پلات مدل GGE، پلات‌های موردنیاز رسم شدند.

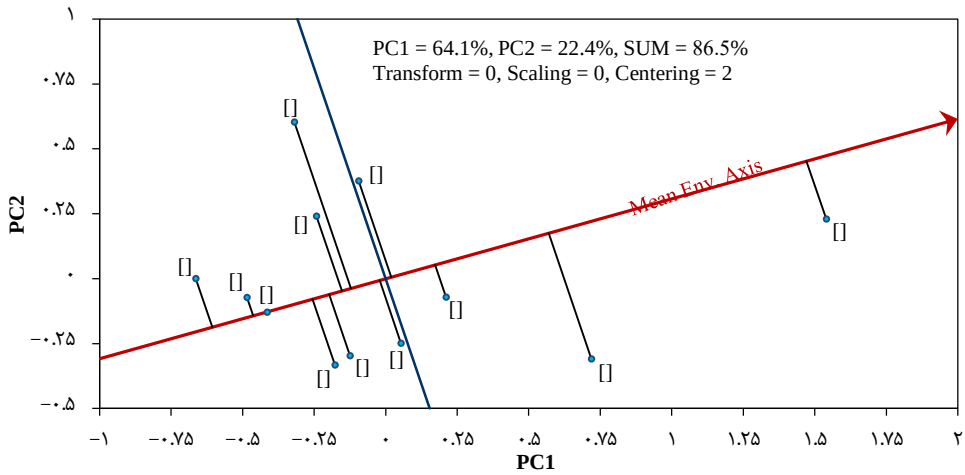
برای رسم و تحلیل چندضلعی حاصل از بای‌پلات این دو مؤلفه (شکل ۱) ابتدا مکان ژنوتیپ‌هایی که در دورترین فاصله نسبت به مبدأ مختصات قرار داشتند شامل ژنوتیپ‌های C1، C2، C4، C11 و C12 به‌وسیله خط‌های مستقیم به - هم وصل شد تا پنج ضلعی بای‌پلات تشکیل شود.

این ژنوتیپ‌ها از بیش‌ترین تا کم‌ترین متوسط عملکرد دانه در شرایط اجرای این آزمایش برخوردار هستند. سپس با استفاده از خط‌هایی که از مبدأ بای‌پلات به هر ضلع پنج ضلعی عمود می‌شوند، صفحه بای‌پلات به پنج قطعه تقسیم شد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود مکان مربوط به دو غلظت ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام در قطعه‌ای قرار گرفته است که ژنوتیپ C2 در آن قطعه در رأس یک زاویه پنج ضلعی قرار دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که ژنوتیپ C2 به این دو غلظت واکنش

مناسبی داشته است. تیمار شاهد در قطعه‌ای از بای‌پلات قرار دارد که مکان ژنوتیپ C4 در رأس یک زاویه پنج ضلعی قراردارد (شکل ۱). این وضعیت نشان می‌دهد که ژنوتیپ C4 نه تنها واکنشی به غلظت‌های مورداستفاده هورمون نداشته بلکه در وضعیت عدم استفاده از هورمون عملکرد بهتری داشته است. براساس این بای‌پلات هشت ژنوتیپ دیگر، چون مکان مربوط به هیچ‌کدام از سه غلظت در قطعات آن‌ها قرار نداشت، به غلظت‌های هورمون یا پاسخ ندادند و یا پاسخ منفی داشتند، به‌طوری‌که نتیجه مناسبی در عملکرد آن‌ها ایجاد نشده است. تحلیل توأم عملکرد و میزان پایداری عملکرد هر ژنوتیپ (نقش کم‌تر در ایجاد تغییرات ناشی از اثرمتقابل) با رسم بای‌پلات شکل (۲) انجام شد.



شکل ۱. بای‌پلات مربوط به تحلیل چند ضلعی مدل GGE



شکل۲. بای‌پلات تحلیل همزمان عملکرد دانه و پایداری هر ژنوتیپ

برای رسم این نمودار، ابتدا محور محیط متوسط یا خطی که از مبدأ مختصات و مکان مربوط به متوسط مختصات سه غلظت هورمون می‌گذرد و از دو طرف ادامه می‌یابد، ترسیم شد. جهت این محور را مکان متوسط مختصات سه غلظت هورمون تعیین می‌کند. سپس یک محور با دو جهت در مبدأ بر این محور عمود می‌کنیم (شکل ۲). در این بررسی هم‌بستگی خطی بین نمره‌های هر ژنوتیپ، مربوط به مؤلفه اول آن‌ها با متوسط عملکرد هر ژنوتیپ تحت تأثیر سه مقدار هورمون مورداستفاده بالا و معنی‌دار (r=۰/۹۸۵**) بود (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در کل آزمایش و نمره‌هایژنوتیپی مؤلفه اول

ژنوتیپ	نمره‌های ژنوتیپی مربوط به مؤلفه اول	عملکرد دانه
C1	−۰/۱۷۸۰	۱۰/۳۱
C2	۱/۵۳۹۹	۴۵/۷۸
C3	−۰/۱۲۵۴	۱۱/۳۱
C4	۰/۷۱۸۹	۲۷/۹۰
C5	−۰/۴۸۴۹	۶/۳۹
C6	−۰/۰۹۵۰	۱۶/۸۸
C7	۰/۰۵۳۰	۱۵/۱۸
C8	−۰/۲۴۲۱	۱۳/۲۱
C9	−۰/۴۱۴۲	۷/۶۳
C10	۰/۲۱۱۰	۱۹/۶۱
C11	−۰/۳۱۹۲	۱۳/۶۰
C12	−۰/۶۶۴۱	۳/۸۴

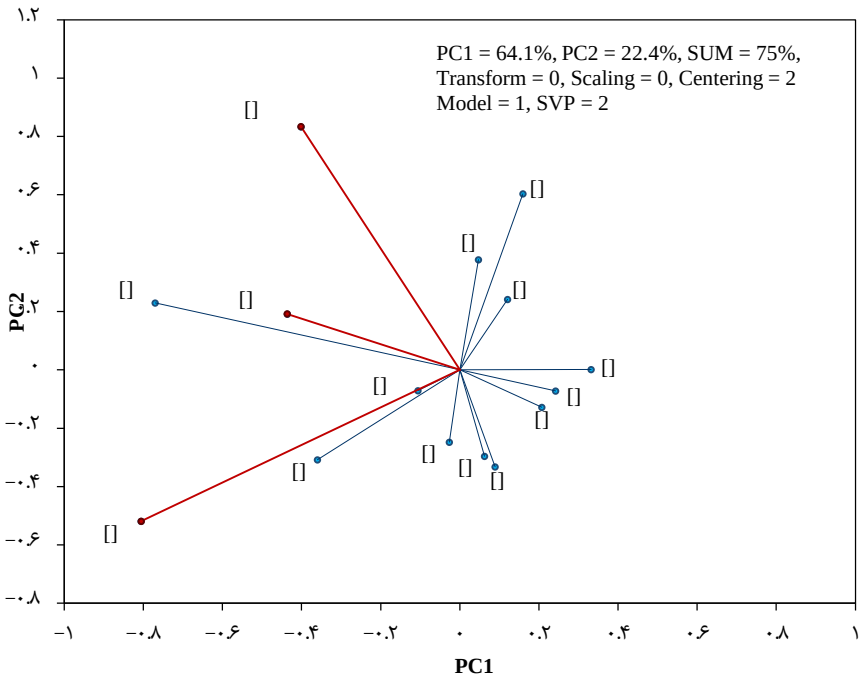
** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد r=۰/۹۸۵.

به‌این‌ترتیب، در این نمودار محور محیط متوسط میزان عملکرد و محور قائم بر آن میزان پایداری عملکرد هر ژنوتیپ را در شرایط اجرای آزمایش تقریب می‌کند. علاوه بر این عملکرد ژنوتیپ‌های واقع در سمت راست محور قائم بیش‌تر از میانگین کل عملکرد ۱۲ ژنوتیپ آزمایشی است. چنانچه دیده می‌شود براساس این بای‌پلات، ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با نشان‌دادن عملکردی بیش‌تر از میانگین عملکرد ۱۲ ژنوتیپ موردبررسی، ژنوتیپ‌های برتر در شرایط این آزمایش ارزیابی شدند. در میان این چهار ژنوتیپ، ژنوتیپ C10 کم‌ترین میزان پاسخ به مصرف هورمون را نشان داد. در این دسته ژنوتیپ‌های C4 و C6 از جمله ژنوتیپ‌هایی بودند که به مصرف هورمون پاسخ دادند. هشت ژنوتیپ باقی‌مانده با عملکرد کم‌تر از میانگین، ژنوتیپ‌های نامطلوب از نظر این بای‌پلات تعیین شدند. در میان این دسته، ژنوتیپ‌های C9 و C5 به‌ترتیب کم‌ترین واکنش به استفاده از هورمون اسیدجیبرلیک در غلظت‌های مورداستفاده در این آزمایش را نشان دادند (جدول ۴).

به‌طور مشخص رابطه هر ژنوتیپ با هر کدام از سه غلظت هورمون مورداستفاده، با بای‌پلات شکل (۳) ارزیابی و بررسی شد.

در این بای‌پلات هر ژنوتیپ و هر کدام از غلظت‌های هورمون اسیدجیبرلیک با یک بردار (خطی که از مبدأ مختصات به مکان ژنوتیپ یا غلظت هورمون وصل می‌شود و جهت آن را مکان قرار گرفتن ژنوتیپ یا غلظت هورمون تعیین می‌کند) نمایش داده شده است. مقدار زاویه بین بردار مربوط به هر ژنوتیپ با بردار مربوط به هر غلظت بیان‌کننده کیفیت این ارتباط است. به‌طوری‌که زاویه کم‌تر از ۹۰ درجه دلالت بر عملکرد بیش از میانگین کل، زاویه‌ی بیش‌تر از ۹۰ درجه، عملکرد کم‌تر از میانگین کل و زاویه ۹۰ درجه، عملکرد برابر با میانگین را تقریب می‌کند (Yan, 2002). همان‌طورکه ملاحظه می‌شود بردارهای مربوط به ژنوتیپ‌های C12، C9 و C5 با بردارهای مربوط به هر سه غلظت هورمون، زاویه‌ای بیش‌تر از ۹۰ درجه دارند، در نتیجه این سه ژنوتیپ به هورمون استفاده‌شده در غلظت‌های مورداستفاده در این آزمایش

پاسخ منفی نشان داده‌اند. یا به بیان دیگر سه غلظت مورداستفاده در این آزمایش برای این سه ژنوتیپ مناسب نبوده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود این سه ژنوتیپ از کم‌ترین میزان عملکرد دانه در شرایط این آزمایش برخوردار بودند (جدول ۳). بردارهای سایر نُه ژنوتیپ موردارزیابی با بردارهای اغلب غلظت‌ها، زاویه کم‌تر از ۹۰ درجه داشتند و نشان می‌دهد به غلظت‌های مورداستفاده، واکنش مثبت نشان داده‌اند. به‌ویژه ژنوتیپ‌های C10 و C4 به عدم استفاده از هورمون و ژنوتیپ C2 به غلظت ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام پاسخ مناسب داشتند.



شکل ۳. بای‌پلات تحلیل عملکرد دانه هر ژنوتیپ تحت تأثیر هر مقدار هورمون مصرفی

۵. بحث

نیازهای مختلف حرارتی ژنوتیپ‌ها در مرحله گل‌دهی منجر به تفاوت واضح عملکرد بین آن‌ها می‌شود (Sau, 2000). عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های C2، C6 و C11 با استفاده از غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نشان داد. اسیدجیبرلیک برون‌زا می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی صفات مورفولوژیکی و عملکرد گیاهان را تغییر دهد و تخصیص زیست‌توده به گل‌ها و دانه‌ها را افزایش دهد. به‌عبارتی، اسیدجیبرلیک با تحریک تقسیم سلولی، گل‌دهی و در نهایت عملکرد دانه را در این ژنوتیپ‌ها تحریک کرده است. با توجه به کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آزمایشی در غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک، این نتیجه حاصل می‌شود که این غلظت از اسیدجیبرلیک به‌دلیل فراتربودن از حد بهینه، اثر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان داشته است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که افزایش غلظت اسیدجیبرلیک فراتر از غلظت بهینه با کاهش تعداد گل و تعداد دانه در غلاف منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (El-shraiy *et al*., 2009; Giovanaz, 2016). در پژوهشی نشان داده شد که استفاده از غلظت‌های بالاتر از ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر اسیدجیبرلیک اثر منفی بر مورفولوژی و عملکرد گیاه دارد (Miceli *et al*., 2019). به‌عبارتی، غلظت زیر حد آستانه‌ی اسیدجیبرلیک، به‌عنوان محرک رشد و افزایش‌دهنده‌ی عملکرد گیاه عمل می‌کند (El-shraiy *et al*., 2009; Giovanaz, 2016).

براساس نتایج این پژوهش ژنوتیپ‌های C2، C3، C4، C7 و C10 عملکرد دانه بالایی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در سطح صفر پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک نشان دادند (جدول ۳). در بسیاری از گونه‌های گیاهی ژنوتیپ‌هایی با سطوح بالای اسیدجیبرلیک درونی، توسط نسبت‌های بالاتر برگ به ریشه، بخش هوایی به ریشه و عملکرد بالا در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی با سطوح پایین اسیدجیبرلیک درونی متمایز می‌شوند. نتایج یک بررسی نشان می‌دهد که گیاهان با سطوح بالای اسیدجیبرلیک درونی، مورفولوژی مشابه به گیاهان محلول‌پاشی‌شده با اسیدجیبرلیک را نشان داده‌اند (Sugiura *et al*., 2015). در این پژوهش کاربرد خارجی اسیدجیبرلیک در ژنوتیپ‌های یادشده، با افزایش میزان اسیدجیبرلیک گیاه، تأثیر منفی بر میزان عملکرد دانه داشته است. این نتیجه در راستای نتایج پژوهشی دیگر (Rastogi *et al*., 2013) بوده است که نشان داد اسیدجیبرلیک در غلظت‌های کم، پارامترهای رشد مانند عملکرد دانه، رشد رویشی، وزن خشک و ارتفاع گیاه را بیش‌تر از غلظت‌های زیاد، تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به عملکرد بهتر این ژنوتیپ‌ها در سطح صفر پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک و کاهش عملکرد در سطح ۱۰ پی‌پی‌ام، پیشنهاد می‌شود تأثیر غلظت‌های کم‌تر از ۱۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک بر این ژنوتیپ‌ها موردبررسی قرار گیرد.

اثر متقابل دو عامل ژنوتیپ و غلظت هورمون اسیدجیبرلیک به تنهایی ۲۲/۳۳ درصد تغییرات کل عملکرد ژنوتیپ‌های موردارزیابی را به خود اختصاص داد به این ترتیب ارزیابی درست عملکرد ژنوتیپ‌های آزمایش و فرایند انتخاب با مشکل مواجه است (جدول ۲). به‌عبارت دیگر، به‌علت معنی‌داری اثر متقابل دو عامل، وضعیت عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر هر کدام از سه غلظت هورمون متفاوت بوده و گزینش ژنوتیپ‌های برتر امکان‌پذیر نیست (جدول ۳). برای حل این مسئله و ارزیابی معتبر ژنوتیپ‌ها از روش تحلیل GGE- بای‌پلات استفاده شد. این روش به‌طور مؤثری پدیده اثر متقابل را تحلیل کرده و بزرگی و الگوی تأثیر آن را در میان ۱۲ ژنوتیپ آزمایش تشریح می‌کند (Yan, 2002; Yan & Tinker, 2006).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی، براساس نتایج این بررسی، ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با عملکرد بالاتر از میانگین کل، مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط اجرای این آزمایش معین شدند. در میان این گروه، ژنوتیپ‌های C2 و C6 به استفاده از هورمون اسیدجیبرلیک واکنش خوبی نشان دادند و دو ژنوتیپ دیگر (C4 و C10) بدون واکنش خاصی نسبت به مصرف هورمون عملکرد بالا و قابل‌قبولی داشتند. پیشنهاد می‌شود این ژنوتیپ‌ها در سایر برنامه‌های به‌نژادی، به‌ویژه در صورت امکان پس از تعیین میزان اسیدجیبرلیک درونی، از نظر حساسیت به غلظت‌های مناسب اسیدجیبرلیک به روش محلول‌پاشی، به‌صورت جداگانه موردارزیابی قرارگیرند. هم‌چنین با توجه به نیاز به ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکردی بالا جهت افزایش عملکرد دانه، از این ژنوتیپ‌ها برای به‌نژادی این محصول بهره برد.

۷. تشکر و قدردانی

از مساعدت صمیمانه همکاران ارجمند در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف گلخانه‌ای و آزمایشگاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

امینی، اشکبوس؛ قنادها، محمدرضا و عبدمیشانی، سیروس (۱۳۸۱). تنوع ژنتیکی و همبستگی بین صفات مختلف در لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.). علوم *کشاورزی ایران*. ۳۳ (۴)، ۶۰۵-۶۱۵. SID. https://sid.ir/paper/441096/fa

کانونی، همایون؛ فرایدی، یداله؛ صباغ پور، سیدحسین و سعید، علی (۱۳۹۵). ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ x محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه. *مجله علوم زراعی ایران*. ۱۸ (۱)، ۶۳-۷۵. SID. https://sid.ir/paper/57280/fa

سرپرست، رمضان؛ شیخ، فاطمه و سوقی، حبیب‌الله (۱۳۹۰). ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و سال و تجزیه کلاستر عملکرد دانه در برخی لاین‌های باقلا (*Vicia faba* L.). پژوهش‌های *حبوبات ایران*. ۲ (۱)، ۹۹-۱۰۶. doi: 10.22067/ijpr.v2i1.12023.

References

Abdel, C. G., & Al-Rawi, I. M. T. (2011). Common vetch *Vicia sativa* L. response to gibberellic acid application (GA_3), supplementary irrigation and its water stress critical stages. *International Journal of Biosciences, 1*(3), 29-38.

Amini, A., Ghanadha, M. R., & Abdmishani, S. (2002). Genetic variation and correlation between different traits in common bean. *Agricultural Sciences*, *33*(4), 605-15. (In Persian).

Bora, R., & Sarma, C. (2006). Effect of gibberellic acid and cycocel on growth, yield and protein content of pea. *Plant Sciences*, *5*(2), 324-330.

Dayan, J., Voronin, N., Gong, F., Sun, T-p., Hedden, P., Fromm, H., & Aloni, R. (2012). Leaf-induced gibberellin signaling is essential for internode elongation, cambial activity, and fiber differentiation in tobacco stems. *The Plant Cell*, *24*(1), 66-79.

El-Shraiy, A. M., & Hegazi, A. M. (2009). Effect of acetylsalicylic acid, indole-3-bytric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of Pea (*Pisum sativum* L.). *Basic Applied Sciences*, *3*(4), 3514-3523.

Emongor, V. (2002). Effect of benzyladenine and gibberellins on growth, yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Agricultural Science and Technology*, *6*(1), 65-72.

Erol, O., Enver, K., & Yusuf, D. (2018). Selection the best barley genotypes to multi and special environments by AMMI and GGE biplot models. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(7), 5179-5187.

Fadhil, A. H., & Almasoody, M. M. M. (2019). Effect of spraying with gibberellic acid on growth and yield of three cultivars of broad bean (*Vicia faba* L.). *Ecology*, *46*, 85-89.

Gauch, Jr. H. G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, *46*, 1488-1500.

Giovanaz, M. A., Fachinello, J. C., Spagnol, D., Weber, D., & Carra, B. (2016). Gibberellic acid reduces flowering and time of manual thinning in 'Maciel'peach trees. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *38*, 1-9.

Hoseinifard, M. S., Javid, M. G., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2018). The effect of hormone priming and corm weight on the yield of flowers and characteristics of daughter corms of saffron in the first year. *Saffron agronomy and technology*, *6*(1). 3-15.

Ibrahim, M., Bekheta, M., El-Moursi, A., & Gaafar, N. (2007). Improvement of growth and seed yield quality of *Vicia faba* L. plants as affected by application of some bioregulators. *Basic and Applied Sciences*, *1*(4), 657-666.

Javid, M. G., Hoseinifard, M. S., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2022). Hormonal priming with BAP and GA3 induces improving yield and quality of saffron flower through promotion of carbohydrate accumulation in corm. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-11. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10286-y

Kanouni, H., Farayedi,Y., Sabaghpour, S. H., & Saeid, A. (2016). Assessment of

genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. *Crop Sciences*, *18*(1), 63-75. (In Persian).

Khan, M., Masroor, A., Gautam, C., Mohammad, F., Siddiqui, M., Naeem, H. M., & Nasir Khan, M. (2006). Effect of gibberellic acid spray on performance of tomato. *Turkish Journal of Biology*, *30*(1), 11-16.

Lee, I. J. (2003). Practical application of plant growth regulator on horticultural crops. *Horticulture Science*, *10*, 211-217.

Lin, S. Y., & Agehara, S. (2020). Exogenous gibberellic acid and cytokinin effects on budbreak, flowering, and yield of blackberry grown under subtropical climatic conditions. *HortScience*, *55*(12), 1938-1945.

Maggio, A., Barbieri, G., Raimondi, G., & Pascale, S. De. (2010). Contrasting effects of GA_3 treatments on tomato plants exposed to increasing salinity. *Plant Growth and Regulation*, *29*(1), 63-72.

Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, *9*(7), 382-404.

Moradi, P., & Dadras, A. R. (2021). Investigation of different populations of tall festuca (*Festuca arundinacea*) under rainfed and irrigation conditions using graphical analysis of GGE biplot. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 151-162.

Noor, F., Hossain, F., & Ara, U. (2017). Effects of gibberellic acid (GA_3) on growth and yield parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science*, *43*(1),49-60.

Rady, M. M., Boriek, S. H. K., Abd El-Mageed, T. A., Seif El-Yazal, M. A., Ali, E. F., Hassan, F. A. S., & Abdelkhalik, A. (2021). Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in *Vicia faba* by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. *Plants*, *10*(4), 1-23.

Rahman, A., Hussain, I., & Nabi, G. (2020). Exogenous gibberellic acid application influences on vegetative and reproductive aspects in gladiolus. *Ornamental Horticulture*, *26*, 244-250.

Rastogi, A., Siddiqui, A., Mishra, B. K., Srivastava, M., Pandey, R., Misra, P., Singh, M., & Shukla, S. (2013). Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *13*, 136-143.

Sarparast, R., Sheikh, F., & Sowghi, H. A. (2011). Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pulses Research*, *2*(1), 99-106. (In Persian).

Sau, F., & Mínguez, M. I. (2000). Adaptation of indeterminate faba beans to weather and management under a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, *66*(1), 81-99.

Semida, W. M., Taha, R. S., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2014). Foliar-applied α-tocopherol enhances salt-tolerance in *Vicia faba* L. plants grown under saline conditions. *South African Journal of Botany*, 95, 24-31.

Shah, S., & Ahmad, I. (2006). Effect of gibberellic acid spray on growth, nutrient uptake and yield attributes during various growth stages of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Plant Sciences*, *5*, 881-884.

Sugiura, D., Sawakami, K., Kojima, M., Sakakibara, H., Terashima, I., & Tateno, M. (2015). Roles of gibberellins and cytokinins in regulation of morphological and physiological traits in *Polygonum cuspidatum* responding to light and nitrogen availabilities. *Functional Plant Biology*, *42*(4), 397-409.

Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., & Jarso, M., (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, *3*(3), 258-68.

Thomas, S. G., Rieu, I., & Steber, C. M. (2005). Gibberellin metabolism and signaling.

Vitamins & hormones, *72*, 289-338.

Yan, W. (2002). Singular- value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy*, *94*(5), 990-996.

Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Plant Science*, *86*(3), 623-645.