

بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های خالص سویا (*Glycine max* L.) از طریق GGE بای پلات

The Study of Compatibility and Yield Stability of Soybean (*Glycine max* L.) Purelines by GGE Biplot

حمیدرضا بابائی^{۱*}، نسرين رزمی^۲، حمیدرضا خادم حمزه^۳، ابراهیم هزار جریبی^۴ و مجتبی هاشمی جزی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴

(مقاله پژوهشی)

چکیده

گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد و پایداری بالا هدف اصلی اغلب برنامه‌های اصلاحی سویا است. این تحقیق با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ۱۶ ژنوتیپ سویا شامل ۱۳ لاین خالص و سه رقم لینه‌فورد، کلین و صبا در پنج منطقه کرج، گرگان، مغان، زرقان و شهرکرد و دو سال (۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد از تجزیه GGE بای پلات استفاده شد. در تجزیه واریانس مرکب اثرات "ژنوتیپ"، "ژنوتیپ × مکان"، "ژنوتیپ × مکان × سال" در سطح احتمال ۱ درصد بودند ولی اثر "ژنوتیپ × سال" غیرمعنی‌دار بود. دو مولفه PC1 و PC2 در مجموع ۵۲/۹ درصد از واریانس اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط (G + GE) را توجیه نمودند. روش GGE بای پلات نشان داد که لاین L68 (Delsoy4210 × Williams8) با عملکرد ۲۸۴۴ کیلوگرم در هکتار بهترین ژنوتیپ از نظر عملکرد و پایداری بود. در این بررسی سه محیط کلان شناسایی شد که اولین محیط کلان شامل محیط‌های کرج ۱۳۹۰، گرگان ۱۳۹۰، زرقان ۱۳۹۱ و مغان ۱۳۹۱ بود. دومین محیط کلان شامل محیط‌های کرج ۱۳۹۱، زرقان ۱۳۹۰ و مغان ۱۳۹۰ و سومین محیط کلان شامل شهرکرد ۱۳۹۰ و شهرکرد ۱۳۹۱ بود. همچنین محیط کرج ۱۳۹۱ به‌عنوان مطلوب‌ترین محیط از جهت توانایی تمایزدهندگی ژنوتیپ برتر و نمایندگی محیط هدف بود. از آنجا که دو محیط گرگان ۱۳۹۰ و گرگان ۱۳۹۱ در محیط کلان اول و دو محیط شهرکرد ۱۳۹۰ و شهرکرد ۱۳۹۱ در یک محیط کلان (سوم) قرار گرفتند، می‌توان برای کاهش هزینه به انجام یک سال آزمایش در این مناطق اکتفا نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ژنوتیپ ایده‌آل، محیط ایده‌آل، محیط کلان

۱. دانشیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲. استادیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (پارس آباد مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد مغان، ایران
۳. استادیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۴. مربی پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۵. کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

* نویسنده مسئول Email: 30241hrbabaei@gmail.com

سویا (*Glycine max*) به دلیل برخورداری از روغن و پروتئین خوراکی مطلوب و فرآورده‌های متنوع تغذیه‌ای و صنعتی به‌عنوان یک گیاه زراعی مهم در دنیا به‌شمار می‌رود. یکی از راهکارهای مؤثر در افزایش تولید، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ارقام پرمحصول می‌باشد. در اغلب مزارع کشت سویا در ایران از ارقام تجارتي استفاده می‌شود که از برنامه‌های به‌نژادی مراکز تحقیقات کشاورزی داخل کشور به‌دست آمده‌اند. وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات کمی نظیر عملکرد دانه باعث می‌شود که ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی در محیط‌های مختلف نشان بدهند (گورموا^۱ و همکاران، 2009). روش‌های آماری بسیاری نظیر تجزیه واریانس و رگرسیون و روش‌های ناپارامتری برای برآورد اثرهای اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین سازگاری ارقام معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (فینلی و ویلکینسون^۲، 1963؛ ابرهارت و راسل^۳، 1966؛ یتز و کوکران^۴، 1956). در بسیاری از این روش‌ها برخی از فرضیات اساسی تجزیه پایداری صادق نیست که از این بین می‌توان به واکنش غیرخطی ژنوتیپ و محیط اشاره نمود که مقدار شاخص محیطی متأثر از میانگین ژنوتیپ‌ها است (بسفورد و کوپر^۵، 1998). با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره از جمله تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و روش AMMI می‌توان اثرات ضرب‌پذیر ژنوتیپ × محیط را تجزیه و مقدار آن‌را برآورد نمود (سیلویرا^۶ و همکاران، 2016؛ پاچکو^۷ و همکاران، 2009). در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) از هم تفکیک نشده و هر دو هم‌زمان به شکل نموداری مورد بررسی قرار گیرند (یان^۸ و کانگ، 2003). یکی از معیارهای مهم در روش بای‌پلات مفهوم ژنوتیپ ایده‌آل است. سیلویرا^۹ و همکاران (2022) در بررسی سازگاری ۸ ژنوتیپ سویا در ۸ منطقه با استفاده از تجزیه GGE بای‌پلات گزارش نمودند که اثرات محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. دو مؤلفه PC1 و PC2 به ترتیب ۳۷/۵ درصد و ۲۳/۸ درصد از تغییرات کل را توجیه نمودند. بای‌پلات به‌خوبی نحوه ارتباط محیط‌ها با یکدیگر و با ژنوتیپ‌ها را نشان داد. در این بررسی سه محیط کلان تشخیص داده شد و ژنوتیپ BRS 333RR به‌عنوان

مطلوب‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. بی‌هارتیا^{۱۰} و همکاران (2017) در بررسی سازگاری ۳۶ ژنوتیپ سویا در سه ناحیه متفاوت از حیث عرض جغرافیایی با استفاده از تجزیه AMMI و روش GGE بای‌پلات گزارش نمودند که اثرات محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بوده و به ترتیب ۹/۸٪، ۲۹٪ و ۴۷/۶٪ از واریانس کل را توجیه نمودند. نمودار دوبعدی به‌خوبی نحوه ارتباط محیط‌ها با یکدیگر و با ژنوتیپ‌ها را نشان داد. در این بررسی ماجرا^{۱۱} مناسب‌ترین محیط جهت گزینش ژنوتیپ‌های سازگار شناخته شد و ژنوتیپ C1(PS1539) به لحاظ داشتن عملکرد بالا و اثر متقابل کم‌تر به‌عنوان بهترین ژنوتیپ تعیین گردید. دادرس و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی ۱۲۱ رقم و لاین پیشرفته سویا در دو شرایط نرمال و تنش خشکی و در دو منطقه رشت و گنبد (چهار محیط) با استفاده از روش GGE بای‌پلات گزارش نمودند که دو مؤلفه اول و دوم در مجموع ۸۸ درصد از تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کنند. در این بررسی یک محیط کلان مشخص گردید و ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۹، ۴۹، ۶۳، ۴۲، ۸۶، ۳۹ و ۴۶ از عملکرد و پایداری مطلوبی برخوردار بودند. کاروالهو^{۱۲} و همکاران (2021) با بررسی روی عملکرد ۸ ژنوتیپ سویا طی دو سال در سه منطقه در برزیل گزارش نمودند که اثرات سال، مکان، ژنوتیپ، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × مکان × سال معنی‌دار و اثر متقابل ژنوتیپ در سال غیر معنی‌دار بودند. دو مؤلفه اول (PC1) و دوم (PC2) به ترتیب ۷۴/۲٪ و ۱۵/۳٪ از میانگین مربعات GGE را به‌خود اختصاص دادند. در این بررسی BRS317 از نظر عملکرد دانه و BRS 283 از نظر عملکرد روغن مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند سلطان محمدی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ۲۰ ژنوتیپ سویا در چهار منطقه با استفاده از مدل تجزیه‌امی^{۱۳} گزارش نمود که دو مؤلفه اول و دوم در مجموع ۸۷/۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند. در این بررسی بر پایه آماره ارزش پایداری /امی (ASV) ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۵، ۱۸ و ۱۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. در بررسی دیگری روش‌شندل^{۱۴} و همکاران (2017) ۲۰ رقم و لاین پیشرفته سویا را در چهار محیط از نظر سازگاری و پایداری عملکرد دانه با استفاده از دو روش /امی و GGE بای‌پلات مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تجزیه /امی نشان داد که سه مؤلفه IPCA2، IPCA3 و IPCA2 به ترتیب ۷۲/۷، ۱۹ و ۱۰/۶ درصد

1. Gurmu
2. Finlay and Wilkinson
3. Eberhart and Russel
4. Yates and Cochran
5. Basford and Cooper
6. Silveira
7. Pacheco
8. Yan
9. Silva

10. Bhartiya
11. Majhera
12. Carvalho
13. AMMI
14. Rushandel

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ سویا شامل ۱۳ لاین خالص و سه رقم لینفورد^۳، کلین^۴ و صبا در پنج منطقه کرج، گرگان، مغان، زرقان (فارس) و شهرکرد طی دو سال زراعی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ اجرا شد. بدین منظور در اردیبهشت ماه زمین آزمایشی با انجام عملیات شخم‌زنی، دیسک و تسطیح و کوددهی به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و نیز سم‌پاشی علف‌کش ترفلان به میزان دو در هزار قبل از کاشت در هر منطقه آماده گردید. پس از آماده‌سازی زمین نقشه آزمایش براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و هر بلوک شامل ۱۶ کرت و هر کرت شامل ۴ خط ۴ متری با فواصل بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر پیاده گردید و سپس اقدام به کشت بذور ژنوتیپ‌ها به صورت دستی در کرت‌های آزمایشی گردید. پس از کاشت آبیاری به صورت جوی پشته‌ای بر اساس عرف هر منطقه انجام گردید. پس از سبز شدن بذور در مرحله چهار برگی فاصله بین بوته‌ها بر اساس ۵ تا ۷ سانتی‌متر تنک گردید. کود اوره به شکل سرک در زمان طولی شدن ساقه و شروع گلدهی به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در اختیار گیاهان قرار گرفت. در مناطقی که آفات تریپس و زنجبرک در آزمایش مشاهده شد، اقدام به سم‌پاشی با آفت‌کش دیازینون با غلظت دو در هزار گردید و دفع علف‌های هرز توسط کولتیواتور انجام گردید. در طول فصل رشد صفات زراعی از قبیل تاریخ رسیدن، مقاومت به خوابیدگی بوته و ریزش دانه و قابلیت برداشت مکانیزه، درصد روغن و پروتئین دانه یادداشت‌بردای شد. در زمان برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به اضافه دو ردیف حاشیه‌ای هر کرت حذف و مابقی آن در سطحی معادل $\frac{3}{6} \times (\frac{1}{2} \times 3)$ مترمربع به‌عنوان عملکرد کرت برداشت و ثبت گردید. بر اساس عملکرد کرت، عملکرد در هکتار برای هر ژنوتیپ برآورد گردید. برای ثبت داده‌های عملکرد از نرم‌افزار اکسل^۵ استفاده شد. بر روی داده‌های عملکرد دانه تجزیه واریانس ساده برای هر منطقه، تجزیه واریانس مرکب دو ساله برای هر منطقه به‌طور جداگانه و تجزیه واریانس مرکب برای دو سال و پنج منطقه با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گردید. برای بررسی سازگاری و پایداری عملکرد بالا از روش GGE بای‌پلات بر مبنای مدل پیشنهادی یان و کانگ^۶ (2003) بشرح: $Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \zeta_i \eta_{j1} + \lambda_2 \zeta_i \eta_{j2} + \epsilon_{ij}$

از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند و براساس آماره ASV دو ژنوتیپ ۱۳ و ۸ به ترتیب با عملکرد ۲۷۸۹ و ۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. هم‌چنین بر مبنای نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ شماره ۴ با عملکرد ۲۸۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ و شهرکرد با متوسط عملکرد ۲۴۱۳ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان مطلوب‌ترین محیط از نظر تمایز و نمایندگی محیط هدف شناخته شدند. سیلویرا^۱ و همکاران (2016) در بررسی سازگاری و پایداری فنوتیپی ۱۰ ژنوتیپ سویا در ۱۲ محیط در ایالت پرانا برزیل با استفاده از روش امی گزارش نمودند که اثرات غیر افزایشی ۶۶٪ از واریانس کل را به‌خود اختصاص دادند که از این میزان ۴۳٪ مربوطه به مؤلفه اول (IPCA1) و ۲۳٪ مربوط به مؤلفه دوم امی (IPCA2) بوده است. در این بررسی ژنوتیپ‌های SYN1059، SYN1163 و VMAX از عملکرد و سازگاری عمومی بالاتری برخوردار بودند. چادهاری و ووه^۲ (2012). در بررسی سازگاری ۱۵ ژنوتیپ سویا در شش مکان از نواحی شرقی ایالت داکوتای جنوبی از طریق تجزیه امی گزارش کردند که اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای سه صفت عملکرد دانه، روغن و پروتئین معنی‌دار بوده و ژنوتیپ‌ها به لحاظ صفات مورد مطالعه رتبه‌های متفاوتی در شش مکان داشتند. در این تحقیق ژنوتیپ‌های Hefty H19Y12 و Hefty H12Y12 از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12، SD2172، Northstar1325R2 و Northstar1726NR2 از نظر محتوی پروتئین دانه و ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12، Nutech 6145 به لحاظ محتوی روغن دانه از سازگاری عمومی بالایی در مناطق مورد بررسی برخوردار بودند

در سال‌های اخیر سطح زیر کشت سویا در کشور از ۱۵۰ هزار هکتار در دهه ۸۰ به کمتر از ۳۰ هزار هکتار در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته است. یکی از عوامل مؤثر در این روند کاهش کمیبود ارقام مناسب برای هر مناطق هدف می‌باشد و به‌طور قطع اصلاح و معرفی ارقام پرمحصول با خصوصیات زراعی مطلوب به توسعه کشت سویا در کشور کمک زیادی می‌کند. در این پژوهش با هدف معرفی ارقام سویا پرمحصول و مناسب مناطق مختلف کشت، سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های خالص سویا برای دو سال زراعی و پنج منطقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

3. Linford
4. Clean
5. Excel
6. Kang

1. Silveira
2. Chaudhary and Wu

در این رابطه Y_{ij} میانگین i امین محیط، μ میانگین کل، β_j میانگین اثر محیط z ام، λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ζ_1 و ζ_2 بردارهای ویژه ژنوتیپی و η_{j1} و η_{j2} بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ i ام در محیط z ام هستند. در تجزیه GGE بای پلات برای تشخیص بهترین ژنوتیپ در محیط‌های آزمایشی و تعیین محیط‌های کلان از بای پلات چند ضلعی پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس دو محور مختصات محیطی و عملکردی استفاده شد. در این چند ضلعی ژنوتیپ‌هایی که در رئوس قرار گرفته‌اند بیشترین فاصله را تا مرکز چند ضلعی داشته و در زمره ارقام واکنش‌پذیر به محیط هستند. برای بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها از بای پلات مختصات محیط متوسط استفاده شد. در این نمودار محور عمودی فلش‌دار که از میانگین محیطی (دایره کوچک) و مبداء مختصات می‌گذرد محور مختصات محیط متوسط^۱ نامیده می‌شود. برای بررسی میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری از بای پلات ژنوتیپ ایده‌آل استفاده شد. در این نمودار ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی فرضی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مرکز دایره هم‌مرکز قرار دارد. هرچقدر فاصله یک ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل کم‌تر باشد مطلوبیت آن بیشتر تر و هرچقدر این فاصله بیشتر باشد مطلوبیت آن کم‌تر خواهد بود. برای مقایسه محیط‌های آزمایشی از بای پلات هم‌بستگی محیطی استفاده شد. در این نمودار زاویه بین بردار محیطی و محور مختصات محیط متوسط مقیاسی برای تعیین میزان بیانگری^۲ یک محیط است. هرچقدر این زاویه کوچک‌تر باشد میزان بیانگری آن محیط بیشتر بوده و نماینده بهتری از منطقه هدف خواهد بود. از طرف دیگر طول بردار برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط و شاخصی برای قابلیت تمایز^۳ محیط‌ها برای تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است. هم‌چنین برای سنجش میزان مطلوبیت محیط‌های آزمایشی از بای پلات محیط ایده‌آل استفاده شد. محیط ایده‌آل محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز و نمایندگی باشد و از نظر مکانی در مرکز دایره هم‌مرکز بای پلات قرار دارد. میزان مطلوبیت محیط‌ها به وسیله فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل سنجیده می‌شود. برای انجام تجزیه GGE بای پلات از نرم‌افزار Genstat 12 (پاین^۴ و همکاران، 2009) استفاده گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه واریانس ساده نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از حیث عملکرد دانه در محیط‌های کرج ۱۳۹۰، گرگان ۱۳۹۱، زرقان ۱۳۹۰، مغان ۱۳۹۰، مغان ۱۳۹۱، شهرکرد ۱۳۹۰ و شهرکرد ۱۳۹۱ اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود داشت، ولی در محیط‌های کرج ۱۳۹۱، گرگان ۱۳۹۰ و زرقان ۱۳۹۱ اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تجزیه واریانس مرکب دوساله مناطق آزمایشی نشان داد که اثرات سال در کرج، گرگان، مغان و شهرکرد در سطح ۱٪ معنی‌دار و در زرقان غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین اثر ژنوتیپ در کلیه مناطق در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ × سال نیز در کرج، گرگان، زرقان و شهرکرد در سطح ۱٪ معنی‌دار و در مغان غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). تجزیه واریانس مرکب پنج منطقه طی دو سال نشان داد اثر سال در سطح ۵٪ و اثرات مکان و سال × مکان در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۴). هم‌چنین اثر ژنوتیپ در سطح ۱٪، اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × مکان × سال در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند، ولی اثر متقابل ژنوتیپ × سال غیر معنی‌دار بود (جدول ۴). کارواله و همکاران (2021) نتایج مشابهی را از نظر منابع تغییر و اثرات معنی‌دار گزارش کردند در این بررسی اثر منطقه یا مکان آزمایشی ۳۶ درصد و اثر سال ۰/۲ درصد از واریانس کل آزمایشی را به خود اختصاص دادند. این نتیجه نشان داد که مناطق آزمایشی از تنوع نسبی بالایی برخوردار بوده درحالی‌که تفاوت بین سال‌های آزمایشی بسیار ناچیز بوده است. بر اساس شاخص‌های اقلیمی نیز بین مناطق آزمایشی تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای وجود داشت (جدول ۱). سهم اثر ژنوتیپ ۵ درصد و سهم اثر متقابل ژنوتیپ × مکان ۲۱ درصد بود (جدول ۴). این نتیجه نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مناطق مختلف یکسان نبوده است. در چنین شرایطی انجام تجزیه پایداری به دلیل اینکه اجزاء مختلف واریانس از یکدیگر تفکیک می‌شوند، به تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار کمک می‌نماید. براساس نتایج حاصل میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۰)، E2 (کرج ۱۳۹۱)، E3 (گرگان ۱۳۹۰)، E6 (مغان ۱۳۹۱) و E7 (زرقان ۱۳۹۰) بیش‌تر از میانگین کل محیط‌ها (۲۴۹۳ کیلوگرم در هکتار) بود و از بین محیط‌ها E2 (کرج ۱۳۹۱) با متوسط عملکرد ۳۴۳۳ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین عملکرد بود (جدول ۵). افزایش عملکرد در این محیط‌ها در واقع به دلیل اثر متقابل مثبت ژنوتیپ × محیط بود. از طرف دیگر میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در محیط‌های E4 (گرگان ۱۳۹۱)، E5

- 1 Average environment coordinate (AEC)
2. Discriminating Ability
3. Representativeness
4. Payne

قالب نمودارهای چهارضلعی و شش‌ضلعی گزارش کردند. بر اساس این بای‌پلات سه محیط کلان مشخص نمود. اولین محیط کلان شامل محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۰)، E3 (گرگان ۱۳۹۰)، E4 (گرگان ۱۳۹۰)، E6 (زرقان ۱۳۹۱) و E8 (مغان ۱۳۹۱) بود و G1 واقع در رأس چندضلعی ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. دومین محیط کلان شامل محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۱)، E5 (زرقان ۳۹۰) و E7 (مغان ۱۳۹۰) بود و G6 برترین ژنوتیپ این محیط بود. سومین محیط کلان نیز شامل دو محیط E9 (شهرکرد ۱۳۹۰) و E10 (شهرکرد ۱۳۹۱) بود و G8 به‌عنوان برترین ژنوتیپ این محیط بود (شکل ۱). از آنجا که دو محیط E3 و E4 در اولین محیط کلان مربوط به آزمایش سال اول و دوم گرگان و دو محیط E9 و E10 در سومین مکان کلان مربوط به آزمایش سال اول و دوم شهرکرد بودند، می‌توان با هدف کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی به‌جای دو سال فقط به آزمایش یک سال در هر منطقه نیز اکتفا نمود. یان و راجکان (2003) انجام آزمایش‌های یک ساله و چند مکان را برای ارزیابی و تشخیص ژنوتیپ‌های برتر کافی دانسته و معتقدند بر اساس داده‌های سال اول می‌توان نتایج سال‌های بعدی را پیش‌بینی نمود. بر اساس بای‌پلات محیط متوسط (AEC) بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G6، G7 و G8 بود که ژنوتیپ G7 با داشتن تصویر کوتاه‌تر از پایداری بالاتر و ژنوتیپ G6 با وجود عملکرد بیش‌تر از پایداری متوسطی برخوردار بودند (شکل ۲). کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G5، G11 و G3 بود. ژنوتیپ‌های G13 و G14 پایداری خوبی از خود نشان دادند. اما عملکردی کم‌تر از میانگین کل داشتند و ژنوتیپ‌های G2، G3، G4، G9، G11 و G15 علاوه بر عملکرد پایین ناپایدار هم بودند (شکل ۲). بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل مقایسه ژنوتیپ‌های موردبررسی با ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که ژنوتیپ G6 و پس از آن G7 نزدیک‌ترین فاصله را به ژنوتیپ ایده‌آل داشته و دارای بیش‌ترین مطلوبیت بودند (شکل ۳). در این بررسی ژنوتیپ‌های G16 و G8 از حیث مطلوبیت در جایگاه سوم و چهارم و سایر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب G10، G12، G13، G14، G9، G15، G11، G1 و ... در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۳). مقایسه دو شکل ۲ و ۳ بیانگر هم‌خوانی نتایج حاصل از دو شکل بود. به‌طور مثال ژنوتیپ G6 با عملکرد ۲۸۴۴ کیلوگرم در هکتار دارای رتبه نخست ولی از حیث پایداری در حد متوسط بود و ژنوتیپ G7 با عملکرد ۲۶۷۹ کیلوگرم در هکتار حائز رتبه دوم، ولی از نظر پایداری برتر از ژنوتیپ G6 بود (شکل ۲). اما در مجموع ژنوتیپ G6 مطلوبیت بیش‌تری نسبت به G7 داشت و بنابراین به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر بود

(مغان ۱۳۹۰)، E8 (زرقان ۱۳۹۱)، E9 (شهرکرد ۱۳۹۰) و E10 (شهرکرد ۱۳۹۱) به دلیل منفی بودن ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کم‌تر از میانگین عملکرد کل محیط‌ها (۲۴۹۳ کیلوگرم در هکتار) بود و از این بین محیط E9 (شهرکرد، ۱۳۹۰) با متوسط ۱۷۴۴ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین عملکرد بود (جدول ۵).

در تجزیه پایداری به‌روش بای‌پلات مؤلفه اول (PCA1) ۳۷/۱ درصد، مؤلفه دوم (PCA2) ۱۵/۸ درصد و در مجموع ۵۲/۹ درصد از واریانس مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط را توجیه نمودند (شکل ۱). این مقدار (۵۲/۹ درصد) کمتر از حد ایده‌آل (۶۶ درصد) بود. دلیل آن مربوط به تفاوت‌های زیاد در مناطق آزمایشی از نظر عوامل اقلیمی تأثیرگذار (خاک و آب و هوا) در عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به گونه‌ای موجب پیچیدگی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شده است (کوکاترک^۱ و همکاران، 2019). در چنین حالتی مؤلفه‌های دیگر (PCAn) نیز دارای مقادیر معنی‌دار خواهند شد. بی‌هارتیا و همکاران (2017) مجموع دو مؤلفه PCA1 و PCA2 در تجزیه بای‌پلات را ۸۴ درصد گزارش کرده‌اند که بیشتر از مجموع دو مؤلفه این پژوهش (۵۲/۹ درصد) بود. در حالی که کوکاترک و همکاران (2017) مجموع دو مؤلفه تجزیه بای‌پلات را ۵۱ درصد و سوز^۲ و همکاران (2015) این مقدار را ۵۷ درصد گزارش کردند که مشابه این تحقیق و کمتر از حد ایده‌آل بودند. تجزیه بای‌پلات پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را در قالب یک نمودار شش ضلعی ارائه داد (شکل ۱). در این شکل G6 بهترین ژنوتیپ در محیط‌های E2، E5 و E7 واقع در بخش G6 بود (شکل ۱). G1 بهترین ژنوتیپ در محیط‌های E1، E3، E6 و E8 مربوط به بخش G1 و ژنوتیپ G8 بهترین ژنوتیپ در دو محیط E9 و E10 در بخش G8 بودند (شکل ۱). ژنوتیپ‌های G2، G3، G4، G5 و G15 که در رؤس دیگر چند ضلعی واقع شدند از آنجا که هیچ محیطی در بخش‌های مربوط به این ژنوتیپ‌ها قرار نگرفته بود، در هیچ یک از محیط‌های آزمون عملکرد قابل قبولی نداشتند (شکل ۱) و بالاخره ژنوتیپ‌های G12، G13، G14 و G16 که تقریباً در مرکز شش ضلعی قرار گرفتند در زمره ارقام واکنش‌ناپذیر به محیط بوده و با داشتن عملکرد متوسط در اغلب محیط‌ها واکنش یکسانی به محیط‌های آزمایشی داشتند (شکل ۱). سلطان‌محمدی و همکاران (2017) و بی‌هارتیا و همکاران (2017) پراکندگی ژنوتیپ‌های سویا را در قالب یک نمودار هفت ضلعی و ادگبو^۳ و همکاران (2015) و روش‌اندل و همکاران (2017) به‌ترتیب در

1. Kocaturk
2. Sousa
3. Edugbo

(شهرکرد ۱۳۹۱) با داشتن بلندترین بردارها از قابلیت تمایز بالایی برخوردار بوده و بیشترین توانایی را در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر داشتند. ولی به دلیل دور بودن از محور مختصات محیط متوسط نماینده خوبی از محیط هدف محسوب نمی‌شوند. از طرف دیگر محیط‌های E3 (گرگان ۱۳۹۰)، E4 (گرگان ۱۳۹۱)، E6 (زرقان ۱۳۹۱) و E8 (مغان ۱۳۹۱) با داشتن کوتاه‌ترین بردارها از توان تمایزدهندگی کم‌تری برخوردار بوده و توانایی اندکی در شناسایی و تشخیص ژنوتیپ‌های برتر داشتند (شکل ۴). با توجه به این‌که محیط‌های دارای توانایی تمایزکنندگی ولی فاقد قابلیت نمایانگری به‌عنوان محیط‌های حذف‌کننده تلقی می‌شوند، می‌توان از آن‌ها برای حذف ژنوتیپ‌های نامطلوب استفاده نمود (یان و کانگ، ۲۰۰۳). بر این اساس می‌توان ژنوتیپ پایدار G1 را به دلیل عملکرد پایین در دو محیط نامطلوب E9 و E10 و ژنوتیپ G10 را به‌همین دلیل در محیط E1 به راحتی حذف نمود. بای‌پلات محیط ایده‌آل نشان داد که محیط E2 (کرج ۱۳۹۰) نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بوده و بهترین محیط از حیث تمایز و نمایندگی بود. پس از E2 دو محیط E7 (مغان ۱۳۹۰) و E5 (زرقان ۱۳۹۰) دارای کم‌ترین فاصله با محیط ایده‌آل و بیشترین مطلوبیت بودند. این محیط‌ها نسبت به سایر محیط‌ها از نمره PC1 کوچک‌تر و نمره PC2 بزرگ‌تر برخوردار بودند. این نتیجه با یافته‌های یانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۰۶) و بی‌هاتیا و همکاران (۲۰۱۷) که گزارش نمودند محیطی مطلوب است که دارای نمره حداقل PC1 (نماینده محیط‌ها) و حداکثر PC2 (شناسایی ژنوتیپ برتر) باشد.

(شکل ۳). یان (۱۹۹۹) و کانگ (۱۹۹۳) ویژگی "پایداری" را به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده عملکرد ارزشمند می‌دانند. در واقع اثر ژنوتیپ × محیط (GE) فقط زمانی که همراه با عملکرد (G) در نظر گرفته شود مفید است و این همان مفهوم "G+GE" است. به عبارتی پایداری یک مضر بدون بعد است که رقم با عملکرد زیاد را بهتر و رقم با عملکرد پایین را بدتر نشان می‌دهد. (یان و کانگ، ۲۰۰۳). اسکریدج^۱ (۱۹۹۶) گزارش کرده است که پایداری از وراثت‌پذیری کم‌تری نسبت به میانگین عملکرد برخوردار است. کانگ (۱۹۹۳) گزارش کرده است که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در GGE بای‌پلات که به‌وسیله فاصله ژنوتیپ‌ها از رقم ایده‌آل تعیین می‌شود هم‌بستگی بالایی (۰/۹۷) با رتبه‌بندی حاصل از آماره پایداری عملکرد کنگ (Ysi) دارد. بای‌پلات هم‌بستگی محیطی نشان داد که زاویه بردارهای محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۰)، E3 (گرگان ۱۳۹۰)، E4 (گرگان ۱۳۹۱)، E6 (زرقان ۱۳۹۱) و E8 (مغان ۱۳۹۱) کوچک بوده و بنابراین دارای هم‌بستگی محیطی مثبت بالایی بودند (شکل ۴). هم‌چنین زاویه بردارهای محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۱)، E5 (زرقان ۱۳۹۰) و E7 (مغان ۱۳۹۰) کوچک بوده و از هم‌بستگی مثبت بالایی برخوردار بودند (شکل ۴). در این بررسی بردارهای محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۰)، E5 (زرقان ۱۳۹۰) و E7 (مغان ۱۳۹۰) کوچک‌ترین زاویه را با محور مختصات محیط متوسط (AEC) داشتند و بنابراین نماینده بهتری از محیط هدف بودند (شکل ۴). از طرف دیگر زاویه بردار محیط E1 (کرج ۱۳۹۰) با دو بردار محیط‌های E9 و E10 (شهرکرد ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) بسیار بزرگ و دارای هم‌بستگی منفی بودند (شکل ۴). علاوه بر این محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۰)، E9 (شهرکرد ۱۳۹۰) و E10

جدول ۱: آماره‌های اقلیمی مناطق آزمایشی

Table 1: Climate statistics of experimental locations

شهرکرد Shahrekd	زرقان Zarghan	مغان Moghan	گرگان Gorgan	کرج Karaj	آماره Parameters
2060	1596	45	155	1321	ارتفاع Altitude (m)
32.32°N	29.78°N	39.30°N	36.83°N	35.49°N	عرض جغرافیائی Latitude
50.86°E	52.71°E	47.20°E	54.48°E	51.06°E	طول جغرافیائی Longitude
316	316	300	700	240	بارندگی Total rainfall (mm)
26.2	30.4	34	23	28	متوسط دمای حداکثر Average temp °C (max)
-4.6	3.9	-0.7	12	1	متوسط دمای حداقل Average temp °C (min)

2. Yang
3. Zhang

1. Eskridge

جدول ۲: تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه مناطق آزمایشی

Table 2: Analysis of variance of seed yeild in experimental locations

شهرکرد Sharekord	مغان Moghan	زرقان Zarghan	گرگان Gorgan	کرج Karaj	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variance					
1391	1390	1391	1390	1391	1390	بلوک Block					
55139 ^{ns}	3180 ^{ns}	128430 ^{**}	118626 ^{ns}	188952 ^{ns}	18710 ^{ns}	241529 ^{ns}	105616 ^{ns}	487539 ^{ns}	661782 ^{ns}	3	بلوک Block
917662 ^{**}	1513656 ^{**}	542488 ^{**}	485995 ^{**}	86217 ^{ns}	567086 ^{**}	599537 ^{**}	732219 ^{ns}	732219 ^{ns}	1705146 ^{**}	15	ژنوتیپ Genotype
29158	16216	222230	114079	75364	58959	91316	101119	415434	331323	45	خطا Error
9.1	7.3	19.1	12.5	10.2	10.2	13.8	12.11	18.8	20.1	-	ضریب تغییرات CV (%)

** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی دار
** and ns: Significant at 1% levels and non significant, respectively

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در مناطق آزمایشی

Table 3: Combined analysis of variance of seed yeild in experimental locations

شهرکرد Share kurd	مغان Moghan	زرقان Zarghan	گرگان Gorgan	کرج Karaj	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of Variance
559814.3 ^{**}	1710325.1 ^{ns}	2818828.3 ^{**}	6167072.0 ^{**}	10158778 ^{**}	1	سال Year
29159.59	701463.6	103830.9	173572.5	574660.5	6	خطا Error
2353657 ^{**}	626089.4 ^{**}	374880.0 ^{**}	731840.5 ^{**}	1551420 ^{**}	15	ژنوتیپ Genotype
77661.01 ^{**}	402393.8 ^{**}	278423.4 ^{**}	343878.4 ^{**}	885944.7 ^{**}	15	ژنوتیپ × محیط Geno × Year
22686.86	168154.7	67161.5	96217.5	373378.4	90	خطا Error
8.3	15.8	10.2	12.9	19.4	-	ضریب تغییرات CV (%)

** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی دار
** and ns: Significant at 1% levels and non significant, respectively

جدول ۴: تجزیه واریانس مرکب کل برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا

Table 4: Total combined variance analysis for grain yield of soybean genotypes

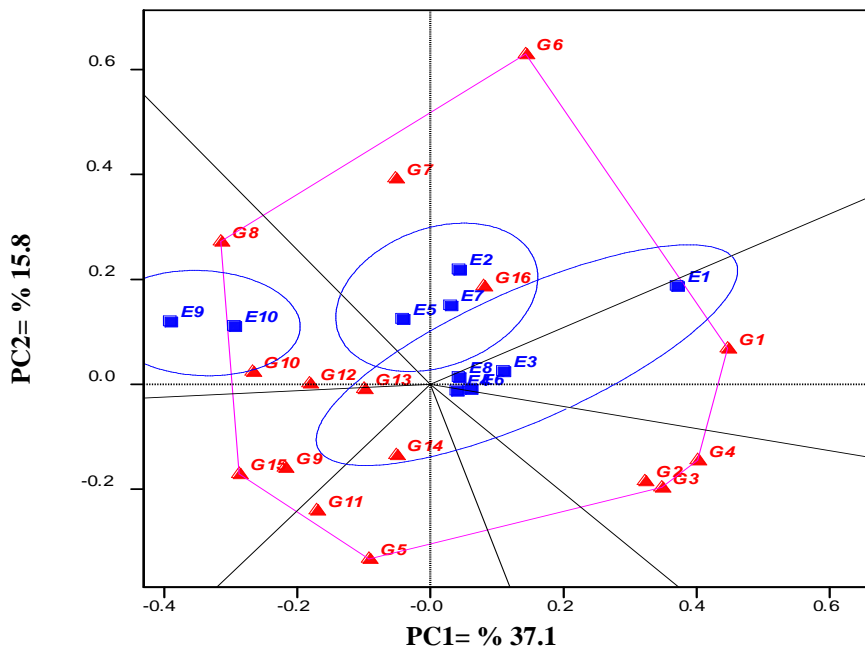
واریانس نسبی (درصد) Relative variance (%)	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variance
0.2	664866.2*	1	سال Year
36	29365489.4**	4	مکان Location
6	5187487.9**	4	مکان × سال Location × Year
3	316537.4	30	خطای ۱ Error 1
5	998937.6**	15	ژنوتیپ Genotype
1	231057.1 ^{ns}	15	ژنوتیپ × سال Genotype × Year
21	1159737.4**	60	ژنوتیپ × مکان Genotype × Location
8	439311.1**	60	ژنوتیپ × مکان × سال Genotype × location × Year
20	145519.8	450	خطای ۲ Error 2
	15.3		ضریب تغییرات CV (%)

*, **, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار
*, **, and ns: Significant at levels: 5%, 1% and non Significant, respectively

جدول ۵: میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های سویا در محیط‌های آزمایشی

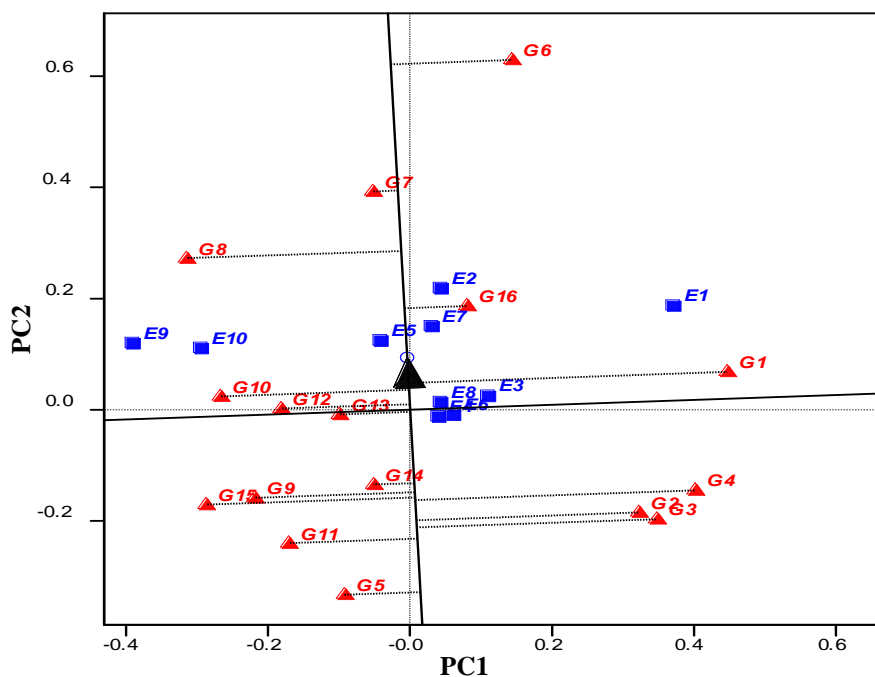
Table 5: Mean seed yield (kg /ha) of soybean genotypes in the experimental environments

میانگین Mean	شهرکرد Shahrekrud		زرقان Zarghan		مغان Moghan		گرگان Gorgan		کرج Karaj		شجره Pedigree	شناسه Code
-	2012 (E10)	2011 (E9)	2012 (E8)	2011 (E7)	2012 (E6)	2011 (E5)	2012 (E4)	2011 (E3)	2012 (E2)	2011 (E1)	-	-
2635	1110	803	3294	2954	2813	2413	2579	3073	3642	3672	L74 (Delsoy5500 × Iroquis)	G1
2297	1142	794	2049	2342	2920	2459	2190	2230	3434	3411	L32 (S.land × NMSB)	G2
2412	1094	760	2674	2979	2674	2120	2234	3196	3289	3099	L57 (Hartwig × Delsoy4210)	G3
2405	1096	739	2342	2546	2833	2283	2421	2839	3400	3550	L58 (Delsoy 5500 × Iroquis)	G4
2293	1866	1926	1775	2242	2733	1868	2127	2915	2982	2499	Ln (Davis × Williams)	G5
2844	2215	1935	2219	3438	2830	2865	2265	2796	3752	4123	L68 (Delsoy4210 × williams82)	G6
2679	2133	1986	2527	3296	2611	2390	1860	2903	4269	2820	Ln (Hamilton × Essex)	G7
2632	2279	2682	2107	2867	2434	2466	2314	2789	4209	2173	Ln (Black hawk × Grangelb)	G8
2380	2225	2016	2767	2850	2594	2546	1446	2295	2737	2326	L.5 (Williams × Hobbit)	G9
2669	2440	2416	3170	2450	2688	3071	2547	2457	2986	2466	L.MS 12	G10
2441	2031	2008	2232	2835	2799	2063	2429	2890	3005	2122	L.HMS 31	G11
2554	2230	2002	2218	2450	2809	2826	2604	2510	3528	2360	L.HMS 15	G12
2369	1902	1855	2479	2654	2601	2312	1561	2065	3658	2602	Linford (Var.)	G13
2441	2041	2055	2607	2454	2486	1540	2208	2891	3240	2889	Clean (Var.)	G14
2369	2227	2094	2318	2613	2472	2532	2343	1860	3165	2062	L.H2500	G15
2474	1988	1834	2149	2306	2587	2381	1848	2291	3628	3733	Saba (Var.)	G16
2493	1876	1744	2433	2705	2680	2383	2186	2625	3433	2869	-	Mean
-	326.0	243.1	900.0	644.8	524.1	463.6	576.9	607.1	1230.6	1099	LSD _{0.01}	



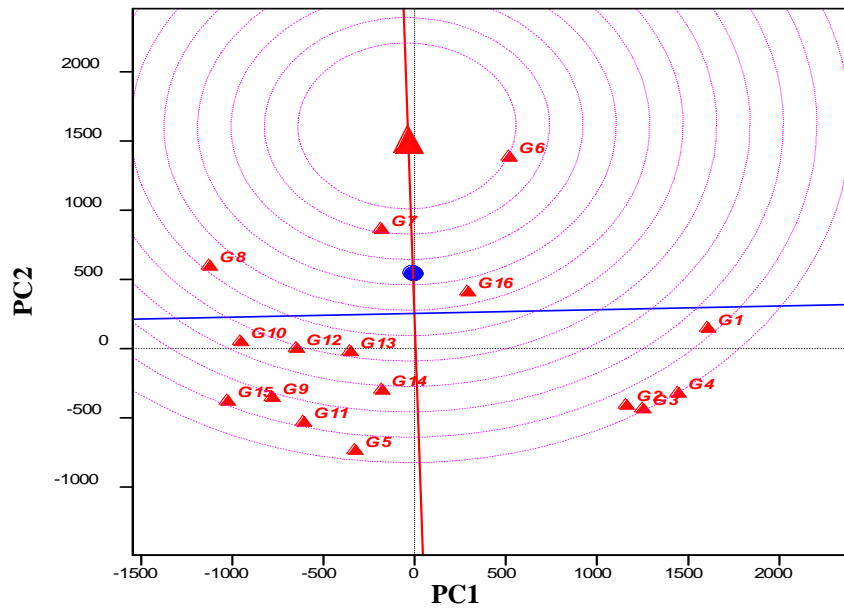
شکل ۱: چندضلعی GGE بای پلات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا (۵۲/۹ درصد از واریانس G+GE توسط مؤلفه‌های PC1 و PC2 توجیه گردید)

Fig. 1: Polygonal GGE biplot of seed yield of soybean genotypes (52.9% of GGE variance was explained by PC1 and PC2 components)

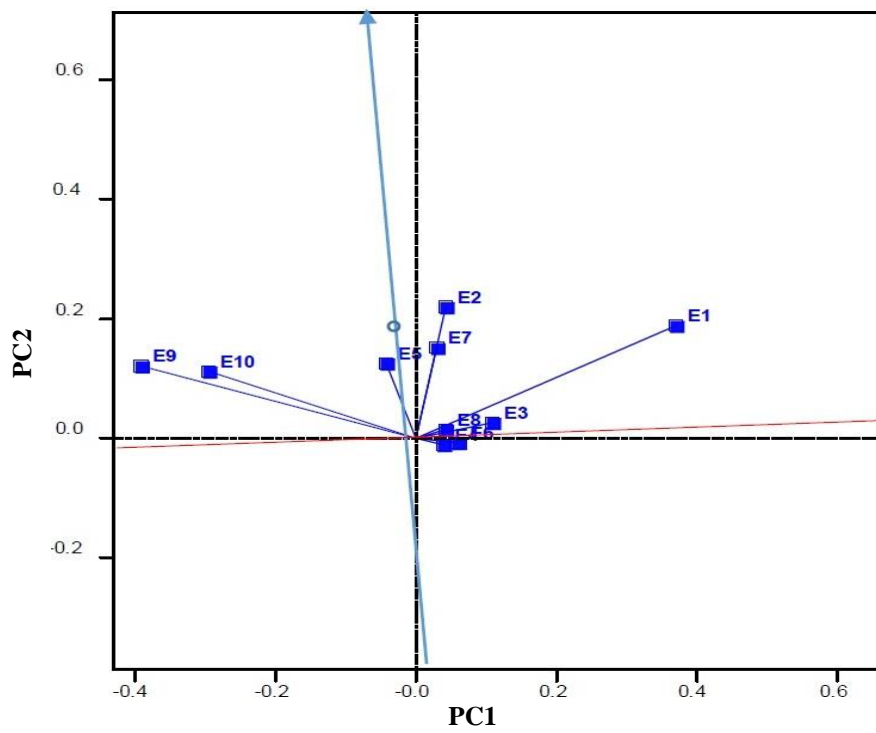


شکل ۲: بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) جهت گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های سویا

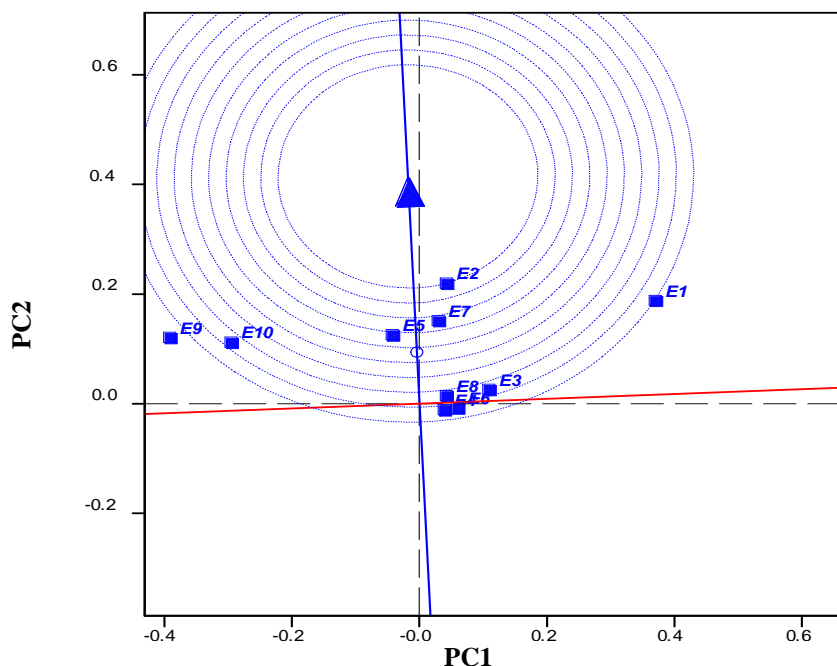
Fig. 2: Biplot of average environmental coordinates (AEC) for simultaneous selection of yield and stability of soybean genotypes



شکل ۳: بای پلات ژنوتیپ ایده‌آل جهت گزینش ژنوتیپ مطلوب
Fig. 3: Ideal genotype biplot to select the desired genotype



شکل ۴: بای پلات هم‌بستگی بین محیط‌های آزمایشی
Fig. 4: Biplot of correlation between experimental environments



شکل ۵: بای پلات محیط ایده آل برای گزینش محیط مطلوب بر مبنای دو شاخص توانایی تمایز و نمایانگری
 Fig. 5: Ideal environment biplot to select the desired environment based on two indexes: discriminating ability and representativeness

نتیجه گیری کلی

نام گذاری شد. هم چنین ده محیط آزمایشی (E1-E10) به لحاظ پتانسیل تولیدی و نیز آماره های اقلیمی تفاوت های قابل ملاحظه ای با یکدیگر داشتند که در تجزیه بای پلات در قالب سه محیط کلان قرار گرفتند و E2 (کرج ۱۳۹۱) از نظر توانایی تمایز و نمایندگی منطقه هدف به عنوان مطلوب ترین محیط شناخته شد.

در این تحقیق ژنوتیپ های سویا با ریخته ارثی مختلف در محیط های آزمایشی واکنش متفاوتی از خود نشان دادند. اما در مجموع ژنوتیپ G6 (Delsoy4210 × williams82) L68 با عملکرد ۲۸۴۴ کیلوگرم در هکتار به عنوان مطلوب ترین ژنوتیپ از نظر عملکرد و پایداری شناخته شد که بعداً در فرآیند آزادسازی قرار گرفت و به عنوان رقم جدید "پارسا"

منابع

- دادرس، ا.، سمیع زاده، ح. و صبوری، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد ارقام و لاین های پیشرفته سویا تحت تنش خشکی با استفاده از تجزیه GGE بای پلات. پژوهش نامه اصلاح گیاهان زراعی، ۲۳: ۲۶-۱۸.
- سلطان محمدی، س.، پیغمبری، س. ع. و بابائی، ح. ر. ۱۳۹۶. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد رقم ها و رگه های سویا در چهار منطقه. علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۸ (۲): ۳۸۹-۳۹۷.
- Atnaf, M., Kidane, S., Abadi, S. and Fisha, Z. 2013. GGE biplots to analyse soybean multi-environment yield trial data in north Western Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5: 245-254.
- Basford, K., E. and Cooper, M. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49: 154-175.
- Bhartiya, A., Aditya, J. P., Pushpendra, K. S., Purwar, J. P. and Agarwal, A. 2017. AMMI & GGE biplot analysis of multi environment yield trial of soybean in North Western Himalayan state Uttarakhand of India. *Legume Research Journal*, 40 (2): 306-312.
- Carvalho, M. P., Nunes, J. A. R., Carmo, E. L., Simon, G. A., Moraes, R. N. O. 2021. Adaptability and stability of conventional soybean by GGE biplot analysis. Retrieved Aug.16 2021 <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167995>.
- Chaudhary, K. J. and Wu, J. 2012. Stability analysis for yeild and seed quality of soybean (*Glycine max*) across different environment in eastern South Dakota. Annual Conference on Applied Statistics in Agriculture, Retrieved Aug. 4, 2017, from <http://newprairiepress.org/agstatconference/2012/proceedings/11>.
- Eberhart, S. A. and Russel, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science Sci*, 6: 36-40.
- Edugbo, R. E., Nwofia, G. E. and Fayeun, L. S. 2015. An assessment of soybean (*Glycine max*, L. Merrill) grain yield in different environments using AMMI and GGE biplot models in Humidorest Fringes of southeast Nigeria. *Agricultura Tropical et Subtropical*, 48 (3): 82-90.

- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742-754.
- Eskridge, K. M. 1996. Analysis of Multi Environment Trial Using The Probability of Outperforming a Check. In: M. S. Kang and Guach, Jr., (ed), *Genotype by Environment Interaction*, pp. 273-307. CRC Press.
- Gurmu, F., Mohammed, H. and Alemaw, G. 2009. Genotype x Environment interactions and stability of soybean for grain yield and nutrition quality. *African Crop Science Journal*, 17: 87-99.
- Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials. Consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85: 754-757.
- Kocaturk, M., Cubukcu, P., Goksoy, A. T., Sincik, M., Ilker, E., Kadiroglu, A., Vurarak, Y., Sahin, Y., Karakus, M. and Yildirim, U. A. 2019. GGE biplot analysis of genotype X environment interaction in soybean grown as second crop. *Turkish Journal Field Crops*, 24 (2): 145-154.
- Pacheco, R. M., Duarte, J. B., Souza, P. I. M., Silva, S. A. and Nunes, J. 2009. Key locations for soybean genotype assessment in Central Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44 (5): 478-486.
- Payne, R.W., Harding, S. A., Murray, D. A. and Soutar, D. M. 2009. *Gen Stat Release 12*. Published by VSN International, 5 The Waterhouse, Waterhouse Street, Hemel Hempstead, Hertfordshire HP1 1ES, UK.
- Roshandel, M., Pourmohammad, A. R., Babaei, H. R. and Shekari, F. 2016. Grain yield stability analysis of soybean genotypes by AMMI method. *Azarian Journal of Agriculture*, 6 (3): 119-128.
- Silva, W. J. S., Neto, F. A. N., Al-Qahtani, W. H., Okla, m. k., AbdElgawad, h. 2022. Yield of soybean genotypes identified through GGE biplot and path analysis. Retrieved Oct. 12, 2022, from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274726>
- Silveira, D. A., Pricinotto, L. F., Nardino, M., Bahry, C. A., Cavenaghi Prete, C. E. and Cruz, L. 2016. Determination of the adaptability and stability of soybean cultivars in different locations and at different sowing times in Parana state using the AMMI and Eberhart and Russel methods. Retrieved Aug. 3, 2019, from <https://www.researchgate.net/publication/311849977>
- Sousa, L. B., Hamawaki, O. T., Nogueira, A. P. O., Batista, R. O., Oliveira, V. M. and Hamawaki, R. L. 2015. Evaluation of soybean lines and environmental stratification using the AMMI, GGE biplot, and factor analysis methods. *Genetics and Molecular Research*, 14 (4): 12660-12674.
- Yan, W. 1999. The interconnectedness among the traits of wheat and its implication in breeding for higher yield, *Cereal Crops*, 1: 43-45.
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42:11-20.
- Yan, W. and Kang, M. S. 2003. *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and agronomists*. CRC Press.
- Yang, R., Crossa, J., Cornelius, P. L. and Burgueno. J. 2009. Biplot analysis of GEI effect. *Crop Science*, 49: 1564-1576.
- Yates, F. and Cochran, W. G. 1956. The analysis of experiments. *Journal of Agronomic Science*, 14: 742-754.
- Zhang, M., Kang, M. S., Reese Jr P. F., and Bhardwaj. H. L. 2006. Soybean cultivar evaluation via GGE biplot analysis. *Journal of New Seeds* 7 (4): 37-50.

The Study of Compatibility and Yield Stability of Soybean (*Glycine max* L.) Purelines by GGE Biplot

Babaei^{1*}, H. R., Khademhamzeh², H. R., Razmi³, N., Hazarjaribi⁴, E. and Hashemijazi⁵, M.

Abstract

Selection of desirable genotypes with high yield and stability is the main goal of most soybean breeding programs. This study was conducted to study the adaptability and stability of seed yield of 16 soybean genotypes including: 13 pure lines and three varieties Linford, Clean and Saba. The assay was accomplished Based on a RCBD design with four replications in five regions: Karaj, Gorgan, Mughan, Zarghan (Fares) and Shahrekord and two years (2011–2012 and 2012-2013). GGE biplot analysis was used to determine adaptability and yield stability. In combined variance analysis, the effects of “genotype”, “genotype × location”, “genotype × location × year” were significant at the 1% probability level, but the effect of “genotype × year” was not significant. The two components PC1 and PC2 explained a total of 52.9% of the variance of genotype and genotype × environment (G + GE) effects. Biplot GGE method showed that L68 (Delsoy4210 x Williams82) with a yield of 2844 kg/ha was the most favorable genotype in terms of yield and stability. In this study, three mega environments were identified, the first mega environment included the environments: Karaj 2012, Gorgan 2012, Gorgan 2012, Zarghan 2013 and Mughan 2013, The second mega environment included the environments Karaj 2013, Zarghan 2012 and Mughan 2012. The third mega environment included Shahrekord 2012 and Shahrekord 2013. Also Karaj 2013 was the most desirable environment according to the discriminating ability and representativeness of the goal environment. Since Gorgan 2012 and Gorgan 2013 were placed in the first mega environment and Shahrekord 2012 and Shahrekord 2013 were placed in an mega environment (the third), To reduce the cost, it is enough to conduct a one-year test in these areas.

Keywords: The interaction of genotype × environment, Ideal genotype, Ideal environment, Mega environment

-
1. Research Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
 2. Research Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department of Center of Agricultural Research and Natural Resources Ardabil Province (Parsabad Moghan), AREEO, Parsabad Moghan, Iran
 3. Research Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
 4. Research tutor of Horticulture Crops Research Department of Center of Agricultural Research and Natural Resources Golestan Province (Gorgan), AREEO, Gorgan, Iran
 5. Research Expert of Center of Agricultural Research and Natural Resources Chaharmahal and Bakhtiyari Province. AREEO. Sharekord Iran

*: Corresponding author Email: 30241hrbabaei@gmail.com