



## "مقاله پژوهشی"

### بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا (*Glycine max* L.) از طریق تجزیه امی (AMMI) و GGE بای پلات

حمیدرضا بابائی<sup>۱</sup>، نسرين رزمی<sup>۲</sup>، ابراهیم هزار جریبی<sup>۳</sup> و مجتبی هاشمی جزئی<sup>۴</sup>

۱- استادیار 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، (نویسنده مسوول: 30241hrbabaee@gmail.com)

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- مربی پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۴- کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۱

صفحه: ۳۳۸ تا ۲۵۰

#### چکیده

گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد و پایداری بالا هدف نهایی اغلب برنامه‌های اصلاحی سویا است. این تحقیق با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۹ لاین خالص سویا همراه با رقم شاهد ویلیامز (۲۰ ژنوتیپ) طی دو سال زراعی (۱۳۹۴-۱۳۹۳) در چهار منطقه کرج، گرگان، مغان و شهرکرد انجام گردید. در کلیه مناطق آزمایشی از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده گردید. جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد از دو روش تجزیه امی (AMMI) و GGE بای پلات استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب بیانگر اثرات معنی‌دار محیط، ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و مولفه‌های IPCA1 و IPCA2 (تجزیه امی) در سطح ۱٪ بود. واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴۲٪ از واریانس کل و دو مولفه IPCA1 و IPCA2 در مجموع ۸۱٪ از واریانس اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. براساس معیارهای امی (ASV و IPCA2، IPCA1) ژنوتیپ G17 (Williams x Steel/L3) با عملکرد ۲۴۴۹ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ تعیین گردید در حالیکه بر اساس معیار بای پلات ژنوتیپ‌های G18 (Williams x Steel/L4) و G20 (شاهد/ Williams) به ترتیب با عملکرد ۲۸۶۵ و ۲۹۲۷ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. همچنین براساس هر دو روش بای پلات و امی محیط‌های E7 و E8 (شهرکرد سال اول و دوم) به‌عنوان مطلوب‌ترین محیط‌ها انتخاب شدند و دو ژنوتیپ G18 و G20 در دو محیط E8 و E9 جزء چهار ژنوتیپ برتر بودند. در تجزیه بای پلات دو محیط کلان شناسایی شد که اولین محیط کلان شامل محیط‌های E3 (گرگان سال اول)، E5 (مغان سال اول) و E6 (مغان سال دوم) و دومین محیط کلان شامل محیط‌های E1 (کرج سال اول) و E2 (کرج سال دوم) و E4 (گرگان سال دوم) بود.

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

#### مقدمه

داشته باشند (۱۶). روش‌های آماری بسیاری نظیر تجزیه واریانس و رگرسیون و روش‌های ناپارامتری برای برآورد اثرهای اصلی ژنوتیپ، محیط، اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین سازگاری ارقام توسط یتس و کوکران (۳۶)، فینلی و ویلکینسون (۱۲) و ابرهارت و راسل (۱۱) معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. در بسیاری از این روش‌ها برخی از فرضیات اساسی تجزیه پایداری صادق نیست که از این بین می‌توان به واکنش غیرخطی ژنوتیپ و محیط و وابستگی متغیر مستقل یا شاخص محیطی به متغیر تابع (میانگین ژنوتیپ‌ها) اشاره نمود (۵). با استفاده از روش‌های چندمتغیره از جمله مولفه‌های اصلی و روش AMMI می‌توان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را تجزیه و مقادیر اجزاء آن را برآورد نمود (۲۰، ۲۵). سیلوپرا و همکاران (۲۵) 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 غیرافزایشی ۶۶٪ از واریانس کل را تشکیل داده که از این میزان ۴۳٪ مربوطه به مولفه اول (IPCA1) و ۲۳٪ مربوطه

سویا (*Glycine max*) به‌عنوان یکی از گیاهان روغنی مهم با دامنه وسیع سازگاری در مناطق مختلف جهان از جمله ایران مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. در اغلب مزارعی که در ایران به زیر کشت سویا می‌روند از ارقام تجارتي استفاده می‌شود که محصول برنامه‌های به‌نژادی داخل کشور است. در این برنامه‌ها پس از اینکه تعداد زیادی ژنوتیپ مطلوب بر اساس عملکرد و خصوصیات مهم زراعی طی نسل‌های در حال تفرق خالص‌سازی و مورد گزینش قرار گرفتند لاین‌های امیدبخش در قالب یک آزمایش مقدماتی از نظر عملکرد و دوره رشد ارزیابی و برترین لاین‌ها انتخاب می‌شوند. در مرحله بعد لاین‌های انتخابی جهت تعیین سازگاری در چند منطقه و چند سال مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا بهترین لاین خالص از نظر عملکرد و پایداری بالا به‌عنوان رقم جدید زراعی جهت کشت در مناطق هدف معرفی شود. وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات کمی نظیر عملکرد دانه باعث می‌شود که ژنوتیپ‌ها نتوانند در محیط‌های مختلف عملکرد یکسانی

از طرف دیگر طول بردار برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط و شاخصی برای قابلیت تمایز محیطها است. بهطوری که بردارهای بلندتر دارای انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری هستند (۳۳). بر اساس دو معیار فوق محیط ایده‌آل محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز و نمایندگی باشد و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد. میزان مطلوبیت محیطها به وسیله فاصله آنها از محیط ایده‌آل سنجیده می‌شود. در آزمایشات تعیین سازگاری و پایداری ارقام که در چندین سال و مکان اجرا می‌شود در روش بای‌پلات با تعیین همبستگی بین محیطها می‌توان اقدام به حذف محیطهای مشابه نمود و هزینه اجرای آزمایشات را از این طریق کاهش داد. در همین زمینه یان و رچکان (۳۲) با بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های سویا طی چند سال در چهار منطقه در کشور کانادا گزارش نموده‌اند که یکی از مناطق همبستگی بالایی با سایر مناطق داشته و لذا این منطقه را از آزمایشات سازگاری حذف نمودند. ویژگی مهم دیگر در بای‌پلات همبستگی بین محیطها، طول بردار محیطی است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط و نیز شاخصی برای "قابلیت تمایز" محیطها محسوب می‌شود. بهطوری که بردارهای بلندتر دارای انحراف معیار بیشتر و در نتیجه دارای قابلیت تمایز بیشتری هستند. محیطهای با قابلیت تمایز بالا توانایی بیشتری در تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های پرمعلکرد دارند (۲۳ و ۳۳). یکی دیگر از ویژگی‌های مهم "میزان بیانگری" یا نمایندگی محیط آزمایشی از منطقه هدف است. در روش بای‌پلات زاویه بین بردار محیطی و محور مختصات محیط متوسط (AEC) معیاری از میزان بیانگری آن محیط است. هر چقدر این زاویه کوچکتر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط مورد نظر نماینده بهتری از منطقه هدف خواهد بود و برعکس. بنابراین محیط ایده‌آل محیطی است (فرضی) که دارای حداکثر قابلیت تمایز و نمایندگی بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد. میزان مطلوبیت محیطها به‌وسیله فاصله آنها از محیط ایده‌آل سنجیده می‌شود. آنتف و همکاران (۴) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی کمی و کیفی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط روی عملکرد دانه ۳۲ ژنوتیپ سویا طی دو سال متوالی (۲۰۰۸ - ۲۰۰۷) در چهار مکان گزارش نمودند که سهم واریانس محیطی ۲۵/۶٪، واریانس ژنوتیپی ۱۴/۹٪ و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۵۵/۶٪ از واریانس کل بوده است. در این بررسی اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ × محیط از نوع متقاطع بود و دو مولفه اول (PC1) و دوم (PC2) به‌ترتیب ۴۱/۶٪ و ۲۱/۸٪ از میانگین مربعات GGE را به‌خود اختصاص دادند. همچنین ژنوتیپ‌های TGX-1889- و TGX-849-313D، TGX-1998-29F و 29F با توجه به عملکرد و پایداری به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر مشخص شدند. بی‌هارتیا و همکاران (۶) در بررسی سازگاری ۳۶ ژنوتیپ سویا در سه مکان با عرض‌های جغرافیایی مختلف توسط تجزیه AMMI و روش نموداری GGE بای‌پلات اثرات محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط را معنی‌دار و سهم هر یک از اثرات را به‌ترتیب ۹/۸٪، ۲۹٪ و ۴۷/۶٪ از

به مولفه دوم (IPCA2) امی بوده است. در این بررسی ژنوتیپ‌های SYN1059، SYN1163 و VMAX از عملکرد و سازگاری عمومی بالایی برخوردار بودند. چادهری و وه (۸) در بررسی سازگاری ۱۵ ژنوتیپ سویا در شش مکان از نواحی شرقی ایالت داکوتای جنوبی از طریق تجزیه امی (AMMI) گزارش نموده است که اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای سه صفت عملکرد دانه، روغن و پروتئین معنی‌دار بوده و ژنوتیپ‌ها رتبه‌های متفاوتی به‌لحاظ صفات مورد مطالعه در شش مکان داشتند. بر اساس نتایج حاصله ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12 و Hefty H19Y12 از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12، SD 2172، Northstar 1325R2 و Northstar 1726NR2 از نظر محتوی پروتئین دانه و ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12، Nutech 6145 به‌لحاظ محتوی روغن دانه از سازگاری عمومی بالایی در مناطق مورد بررسی برخوردار بودند. به اعتقاد بسیاری از به‌نژادگران گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد ژنوتیپ (G) یا اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) به‌تنهایی کافی نبوده و بهتر است بررسی این دو اثر به‌صورت توأم صورت پذیرد (۱ و ۱۷). گاج و زوبل (۱۵) گزارش نموده‌اند که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار توجه به هر دو اثر "ژنوتیپ" و "ژنوتیپ × محیط" حائز اهمیت بوده و هر چند در برخی روش‌ها مانند روش AMMI این دو اثر به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرند ولی بهتر است مجموع دو اثر در گزینش ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرند. در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) از هم تفکیک نشده و این امکان فراهم می‌شود که این دو اثر هم‌زمان و به شکل نموداری مورد بررسی قرار گیرند (۳۳). یان و همکاران (۳۴) معتقدند که روش GGE بای‌پلات از حیث تجزیه اثر "ژنوتیپ × محیط" از روش AMMI موفق‌تر و کارآمدتر بوده و اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد. اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده اما قابل بهره‌برداری نیست لذا حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل "ژنوتیپ × محیط" (GE) مفید خواهد بود. یکی از معیارهای مهم در روش بای‌پلات مفهوم ژنوتیپ ایده‌آل است. ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی فرضی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز قرار دارد. میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به فاصله آنها از ژنوتیپ ایده‌آل بستگی دارد. هر چقدر فاصله یک ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل کمتر باشد، مطلوبیت آن بیشتر و هرچقدر این فاصله بیشتر باشد مطلوبیت آن کمتر خواهد بود. ویژگی مهم دیگر در روش بای‌پلات تعیین همبستگی بین محیطها است. کسینوس زاویه بین بردارهای محیطی تقریبی از همبستگی بین محیطها است. زمانی که زاویه بین دو بردار محیطی ۹۰ درجه باشد همبستگی آنها صفر و اگر صفر درجه باشد همبستگی بین محیطها +۱ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی -۱ خواهد بود. همچنین زاویه هر بردار محیطی با محور مختصات محیط متوسط، معیاری برای تعیین میزان بیانگری آن محیط است.

واریانس کل گزارش کرد. نمودار دوبردی GGBP این مطالعه به‌خوبی نحوه ارتباط محیط‌ها با یکدیگر و با ژنوتیپ‌ها را نشان داد و ژنوتیپ PS1539 بهترین ژنوتیپ به لحاظ عملکرد بالا و حداقل اثر متقابل بود.

در بررسی حاضر ۱۹ لاین خالص سویا که حاصل برنامه‌های مختلف به‌نژادی مختلف در دهه ۸۰ بود پس از ارزیابی مقدماتی عملکرد دانه به‌عنوان لاین‌های خالص امیدبخش انتخاب شدند که به‌همراه رقم ویلیامز (شاهد) جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد و انتخاب بهترین ژنوتیپ به‌عنوان رقم جدید در این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در مناطق کرج، مغان، شهرکرد و گرگان مورد بررسی قرار گرفتند.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۹ لاین خالص سویا به‌همراه رقم شاهد ویلیامز در چهار منطقه کرج، گرگان، مغان و شهرکرد (جدول ۱) طی دو سال زراعی (۱۳۹۳-۱۳۹۴) اجرا شد. به‌همین منظور عملیات زراعی در کشت بهاره در اوایل خرداد شامل شخم، دیسک، لولر و کوددهی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم اوره ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در هر

جدول ۱- آماره‌های اقلیمی مناطق آزمایشی

Table 1. Climate parameters of the experimental locations

| شهرکرد      | کرج         | مغان        | آماره       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ۲۰۶۰        | ۱۵۵         | ۱۳۲۱        | ۴۵          |
| ۳۲/۳۲ شمالی | ۳۶/۸۳ شمالی | ۳۵/۴۹ شمالی | ۳۹/۳۰ شمالی |
| ۵۰/۸۶ شرقی  | ۵۴/۴۸ شرقی  | ۵۱/۰۶ شرقی  | ۴۷/۲۰ شرقی  |
| ۳۱۶         | ۷۰۰         | ۲۴۰         | ۳۰۰         |
| ۲۶/۲        | ۲۳          | ۲۸          | ۳۴          |
| -۴/۶        | ۱۲          | ۱           | -۰/۷        |

مولفه PC1 و PC2 روش بای‌پلات به‌ترتیب ۸۸٪ و ۹۲٪ و ۷۵٪ گزارش شده است. معنی‌دار بودن اثر ضرب‌پذیر ژنوتیپ × محیط (سال × مکان) نشان داد که انجام تجزیه پایداری با تفکیک اجزاء واریانس اثر متقابل می‌تواند به تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار کمک نماید. لذا در این بررسی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و محیط‌های مطلوب از تجزیه امی (AMMI) و GGE بای‌پلات استفاده گردید. سامونته و همکاران (۲۴) در مقاله خود در خصوص بررسی پایداری ارقام برنج با استفاده از دو روش امی (AMMI) و بای‌پلات اشاره می‌کند که تجزیه واریانس یک مدل افزایشی است که به‌خوبی اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط را تفکیک و مشخص می‌کند که اثر متقابل معنی‌دار است یا نه، اما تصویری روشن از اجزاء تشکیل‌دهنده اثر متقابل ارائه نمی‌دهد، در حالیکه روش‌های امی و بای‌پلات اجزاء ضرب‌پذیر اثر متقابل را تفکیک و سهم هر یک از اجزاء را به شکل کمی بیان می‌کنند. میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هر محیط و در کل محیط‌ها، میانگین عملکرد دانه در هر محیط و در کل محیط‌ها و میانگین عملکرد کل همراه با مولفه‌های IPCA1 (AMMI1) و IPCA2 (AMMI2) و آماره پایداری ASV تجزیه امی در جدول ۶ ذکر شده است. با توجه به نتایج جدول ۶ و بر مبنای شاخص IPCA1 ژنوتیپ‌های G1، G17 و

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده یکساله بیانگر تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در مناطق و سال‌های آزمایشی بجزه آزمایش سال اول گرگان (۱۳۹۳) و سال دوم مغان (۱۳۹۴) در سطح معنی‌دار ۱٪ بود (جدول ۲). تجزیه واریانس مرکب دو ساله هر منطقه نشان داد که اثرات سال و ژنوتیپ در کلیه مناطق کرج، گرگان، مغان و شهرکرد در سطح ۱٪ معنی‌دار و اثر متقابل ژنوتیپ × سال بجز آزمایش مغان در سایر مناطق در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۳). تجزیه واریانس مرکب چهار منطقه طی دو سال نیز نشان داد که کلیه منابع تغییر شامل محیط، ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، مولفه‌های IPCA1 و IPCA2 (تجزیه امی) در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴). واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴۲٪ از واریانس کل و مولفه‌های IPCA1 و IPCA2 به‌ترتیب ۷۱٪ و ۱۲٪ و در مجموع ۸۳٪ از واریانس اثر متقابل را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۴). بی‌هارتیا و همکاران (۶) گزارش کردند که جفت مولفه‌های PC1 و PC2 به‌ترتیب ۴۵/۷ و ۳۸/۹ درصد از واریانس مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. در بررسی‌های دادرس و همکاران (۱۰)، روش‌اندل و همکاران (۲۳) و سیلویرا و همکاران (۲۵) مجموع واریانس دو

G12 در محیط E2، ژنوتیپ G15 در محیط E8، ژنوتیپ G18 در محیط E7، ژنوتیپ G9 در محیط E6 و ژنوتیپ G10 در محیط E5 به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. نتایج نمودار ۱ گرچه قابل انطباق با عملکرد ژنوتیپ‌ها در جدول ۶ می‌باشد، اما نتایج کاملاً یکسان نبودند. دلیل این امر این است که نمودار چندضلعی بر اساس دو مولفه PC1 و PC2 ترسیم شده است که هر مولفه بر مبنای مقادیر عملکرد ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE+G) به‌دست آمده‌اند و واضح است که با مقادیر خام عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت خواهد بود. سلطان‌محمدی (۲۶) و بی‌هارتیا (۶) در بررسی‌های جداگانه‌ای پراکنندگی ژنوتیپ‌های سویا در نمودار بای‌پلات را در قالب یک هفت ضلعی، ادوگبو (۱۳) در قالب یک چهار ضلعی و روشندل (۲۳) در قالب یک شش ضلعی گزارش کردند. برخی ژنوتیپ‌ها گرچه در رئوس چندضلعی قرار نگرفته‌اند ولی چون در مجاورت یکی از اضلاع یا رئوس چندضلعی قرار گرفته‌اند از عملکرد بالایی در یکی از محیط‌های بخش مربوطه برخوردارند از این جمله می‌توان به ژنوتیپ‌های G13، G20 و G8 اشاره نمود که به‌ترتیب در محیط‌های E8، E6 و E3 عملکرد بالایی داشتند. ژنوتیپ‌های G7 و G4 که در رئوس دیگر چندضلعی واقع شده‌اند از آنجا که هیچ محیطی در بخش‌های مربوطه قرار نگرفته‌اند بنابراین در هیچ‌یک از محیط‌ها عملکرد بالایی نداشتند (شکل ۱) و بالاخره ژنوتیپ‌های G19، G17، G11، G3، G2 و G16 که در داخل چندضلعی واقع شده‌اند با داشتن عملکرد متوسط در اغلب محیط‌ها واکنش تقریباً یکسانی به کلیه محیط‌ها نشان دادند و از این حیث در زمره ارقام واکنش‌ناپذیر به محیط یا پایدار به‌حساب می‌آیند (شکل ۱).

نمودار بای‌پلات شکل ۲ امکان بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌سازد. در این نمودار محور افقی فلش‌دار که از میانگین محیطی (دایره کوچک) و میداء مختصات می‌گذرد محور مختصات محیط متوسط (AEC) نامیده می‌شود و تصویر ژنوتیپ‌ها روی این محور تقریبی از عملکرد ژنوتیپ (G) است. از طرف دیگر محور عمودی بیانگر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) بوده و پایداری رقم را نشان می‌دهد. بنابراین هر اندازه تصویر ژنوتیپ روی این محور طولی‌تر باشد ناپایداری آن بیشتر و هر اندازه کوتاه‌تر باشد پایداری آن بیشتر خواهد بود. یان (۳۶) در بررسی ۳۳ ژنوتیپ گندم زمستانه در هشت محیط گزارش کرد که تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور مختصات محیط متوسط (AEC) برآورد مطلوبی از عملکرد ژنوتیپ‌ها را به‌دست می‌دهد. وی همبستگی بین عملکرد واقعی و برآورد آن از طریق بای‌پلات را ۰/۹۸ اعلام نموده است. بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G20، G18 و G15 بود که در بین این سه ژنوتیپ، G18 و G20 با داشتن طول تصویر کوتاه‌تر از پایداری بیشتری برخوردار بودند و G15 در رتبه بعدی قرار گرفت (شکل ۲).

ژنوتیپ‌های G2، G17 و G19 پایداری خوبی از خود نشان دادند اما عملکردی در حد میانگین کل داشتند. لازم

G19 به‌ترتیب با داشتن کمترین مقادیر IPCA1 : ۰/۵، ۱/۶ و ۳/۸ پایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G9، G8 و G7 با داشتن بالاترین مقادیر (مطلق) IPCA1 : ۲۹/۸، ۲۸/۴- و ۲۶/۷- ناپایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). بر اساس شاخص IPCA2 ژنوتیپ‌های G11، G2 و G17 به‌ترتیب با کمترین مقادیر IPCA2 : ۰/۵، ۱/۳ و ۱/۷ به‌عنوان پایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G1، G4 و G10 با داشتن بالاترین مقادیر (مطلق) IPCA2 : ۲۴/۶، ۱۹/۹- و ۱۷/۱- ناپایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. همچنین بر اساس ارزش پایداری امی (ASV) ژنوتیپ‌های G17، G19 و G2 به‌ترتیب با داشتن کمترین مقادیر ASV : ۵، ۱۱/۴ و ۱۴/۸ جزء پایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G9، G8 و G7 با داشتن بیشترین مقادیر ASV ناپایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. از آنجا که عملکرد سه ژنوتیپ G17، G19 و G2 (۲۴۴۹، ۲۵۱۲ و ۲۶۱۵ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از میانگین کل (۲۴۱۰ کیلوگرم در هکتار) بود، می‌توان هر سه ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پرمحصول و با سازگاری عمومی معرفی نمود (جدول ۶). در اغلب بررسی‌های سازگاری که از روش AMMI برای توجیه و تفسیر اثرات متقابل ضرب‌پذیر استفاده شده است دو مولفه معنی‌دار اول و دوم به‌طور متوسط ۸۸-۶۱ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه می‌نمایند (۱۸،۲۸،۷،۳۱). یکی از کاربردهای مهم روش امی (AMMI) تعیین سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌های مورد بررسی است. در بین محیط‌های آزمایشی E8 (شهرکرد سال دوم) با متوسط عملکرد ۲۸۲۲ کیلوگرم در هکتار و بالاترین مقدار IPCA1 (۶۴/۸) سهم عمده‌ای از واریانس اثر متقابل را به‌خود اختصاص داد و از نظر توانایی تفکیک ژنوتیپ‌ها و تشخیص ژنوتیپ برتر مطلوب‌ترین محیط بود و G18، G12، G18 و G20، G15 چهار ژنوتیپ برتر این محیط بودند (جدول ۵). پس از آن محیط E7 با متوسط عملکرد ۲۷۷۲ کیلوگرم در هکتار و مقدار IPCA1 (۲۸/۴۷) از نظر توان تشخیص ژنوتیپ‌های برتر در جایگاه دوم قرار گرفت و به‌ترتیب E15، G18، G20 و G13 چهار ژنوتیپ برتر این محیط بودند (جدول ۵). همچنین محیط E2 (کرج سال دوم) با کمترین مقدار IPCA1 (۳/۲۷) که سهم ناچیزی از واریانس اثر متقابل را به‌خود اختصاص می‌داد به‌عنوان پایداری‌ترین و به‌عبارتی ضعیف‌ترین محیط از حیث تشخیص ژنوتیپ‌های برتر بود (جدول ۵). شکل ۱ نمای چند ضلعی پراکنش ژنوتیپ‌ها را بر اساس دو محور مختصات محیطی و عملکردی نشان می‌دهد. در این چند ضلعی ۹ ژنوتیپ G1، G14، G12، G18، G15، G4، G10، G9 و G7 در رئوس چندضلعی قرار گرفته‌اند که بیشترین فاصله را از مرکز چندضلعی دارند و دارای بلندترین بردارها در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشند و از این حیث در زمره ژنوتیپ‌های واکنش‌پذیر به محیط قرار می‌گیرند (شکل ۱). در این نمودار بر هر ضلع چند ضلعی یک خط عمود کشیده شده که آنرا به ۹ بخش تقسیم می‌کند و هر بخش با نام ژنوتیپ راس مربوطه مشخص می‌شود. بر این اساس ژنوتیپ G1 واقع در راس بخش G1 بهترین ژنوتیپ در محیط E4 می‌باشد. به‌همین ترتیب ژنوتیپ G14 در محیط E1، ژنوتیپ

به‌ذکر است که این ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص ارزش پایداری امی (ASV) نیز دارای بالاترین پایداری بودند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های G9، G10، G14، G4 و G1 با عملکردی در حد میانگین یا کمتر جزء ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و در نهایت ژنوتیپ‌های G5، G6 و G5 با وجود پایداری بالا از عملکرد پایینی برخوردار بودند (شکل ۲).

شکل ۳ نمودار بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی است فرضی که دارای بیشترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز قرار می‌گیرد. میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به فاصله آنها از ژنوتیپ ایده‌آل بستگی دارد. هر چقدر فاصله یک ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل کمتر باشد مطلوبیت آن بیشتر و هرچقدر این فاصله بیشتر باشد مطلوبیت آن کمتر خواهد بود. مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که ژنوتیپ G18 با عملکرد ۲۸۶۵ کیلوگرم در هکتار و پس از آن G20 با عملکرد ۲۹۲۷ کیلوگرم در هکتار در کوتاه‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفته و بنابراین دارای بیشترین مطلوبیت بودند. کنگ (۱۷) و یان (۲۹) در خصوص ارزش پایداری بیان می‌کنند که پایداری به‌تنهایی فاقد ارزش و اعتبار بوده و فقط به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کننده عملکرد حائز اهمیت است. یک نتیجه منطقی از مفهوم GGE آن است که معیار تعیین‌شده به‌وسیله GEI فقط هنگامی مفید است که همراه با میانگین عملکرد ژنوتیپ (G) در نظر گرفته شود. پایداری یک مضرب بدون بعد است که رقم پرمحصول را بهتر نمایان می‌سازد ولی رقم با عملکرد پایین را بدتر نشان می‌دهد (۳۳). برخی گزارشات حاکی از آنست که پایداری از وراثت‌پذیری کمتری نسبت به عملکرد برخوردار است (۱۴). در این نمودار ژنوتیپ‌های G15 و G12 از حیث مطلوبیت در جایگاه سوم و چهارم قرار گرفتند و سایر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب G16، G13، G2، G19، ... و G19 از مطلوبیت کمتری برخوردار بودند (شکل ۳).

بر اساس ارزش پایداری امی (ASV) ژنوتیپ‌های G17، G19 و G2 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و بر اساس دو مولفه IPCA1، IPCA2 و ASV ژنوتیپ G17 بهترین ژنوتیپ بود. درحالی‌که در روش بای‌پلات دو ژنوتیپ G18 و G20 مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. دلیل این تفاوت در معیارهای گزینش دو روش است. در روش امی (AMMI) مولفه‌های IPCA بیانگر اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشند. درحالی‌که در روش GGE بای‌پلات مولفه‌های IPC1 و IPC2 بیانگر عملکرد ژنوتیپ + اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE+G) می‌باشند. به‌عبارت دیگر در روش امی ابتدا ژنوتیپ پایدار بر اساس اثر متقابل کمتر انتخاب می‌شود و در مرحله بعد در بین ژنوتیپ‌های پایدار پرمحصول‌ترین ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب انتخاب می‌شود. ولی در روش بای‌پلات همزمان تاکید بر روی هر دو عملکرد و اثر متقابل کمتر است. گزارش شده است که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد و پایداری که به‌وسیله فاصله علامت ژنوتیپ‌ها از رقم ایده‌آل در بای‌پلات GGE تعیین می‌شود همبستگی بالایی (۹۷٪) با رتبه‌بندی حاصل از

آماره پایداری عملکرد کنگ (Ysi) دارد (۱۷). در بررسی‌های مختلف سازگاری که در محیط‌های چندگانه بر روی عملکرد ژنوتیپ‌های سویا انجام شده است ژنوتیپ‌های پایدار و ناپایدار متفاوتی گزارش شده است (۲، ۲۲ و ۲۷). با مراجعه به نمودار ۱ می‌توان دو محیط کلان را مشاهده نمود که اولین محیط کلان شامل محیط‌های E3 (گرگان سال اول)، E5 (مغان سال اول) و E6 (مغان سال دوم) و دومین محیط کلان شامل محیط‌های E1 (کرج سال اول) و E2 (کرج سال دوم) و E4 (گرگان سال دوم) بودند (شکل ۱). به‌طورکلی دو معیار برای تشکیل محیط‌های کلان پیشنهاد شده است. اول اینکه در محیط‌های مختلف آزمایشی ارقام برتر متفاوتی شناسایی شود و دوم اینکه تنوع بین گروهی باید به‌طور معنی‌داری بیش از تنوع درون‌گروهی باشد. در واقع این دو شرط معیارهای عمومی برای خوشه‌بندی محیط‌ها خواهند بود (۱۵). در روش نموداری GGE بای‌پلات محیط‌های کلان باید شامل گروه‌هایی از محیط آزمون باشند که در یک بای‌پلات از هم جدا شده‌اند. این دو معیار چنانکه در شکل ۱ مشهود است در بررسی حاضر تحقق پیدا کرد.

شکل ۴ نمودار بای‌پلات همبستگی محیطی را نشان می‌دهد. زاویه بین بردارهای محیطی تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است و طول بردار برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط و شاخصی برای قابلیت تمایز محیط‌ها است. از طرف دیگر زاویه هر بردار محیطی با محور مختصات محیط متوسط، معیاری برای تعیین میزان بیانگری آن محیط است. بر اساس نمودار شکل ۴ محیط‌های E1 (کرج سال اول)، E2 (کرج سال دوم) و E8 (شهرکرد سال دوم) با یکدیگر و سه محیط E3 (گرگان سال اول)، E5 (مغان سال اول)، E6 (مغان سال دوم) با یکدیگر همبستگی مثبت و بالایی داشتند. همچنین دو محیط E7 (شهرکرد سال اول)، E8 (شهرکرد سال دوم) با یکدیگر از همبستگی مثبت برخوردار بودند. همانطور که در نمودار محیط‌های کلان شکل ۱ نیز مشاهده گردید دو محیط E1 و E2 (کرج سال اول و دوم) در یک محیط کلان و دو محیط E5 و E6 (مغان سال اول و دوم) در محیط کلان دیگر قرار گرفته بودند. شباهت نتایج سال اول و دوم این دو منطقه می‌تواند به‌دلیل عدم نوسان عوامل اقلیمی نظیر میانگین، حداکثر و حداقل دما و نیز تشابه تنش‌های رطوبتی و غیره هم باشد. در چنین شرایطی می‌توان به انجام آزمایش یکساله اکتفا نموده و هزینه اجرای آزمایش را کاهش داد. یان و رچکان (۳۲) در بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های سویا اظهار نموده‌اند در آزمایشاتی که نتایج عملکردی ژنوتیپ‌ها در برخی محیط‌ها طی دو سال مشابه باشد می‌توان اطلاعات عملکردی را با استفاده از محیط‌های آزمون کمتر به‌دست آورد و با کاهش هزینه اجرای آزمایش کارایی اصلاحی افزایش داد. در این تحقیق همبستگی محیط E4 (گرگان سال دوم) با E1 (کرج سال اول) و E2 (کرج سال دوم) مثبت اما کوچک بود. همچنین همبستگی E4 (گرگان سال دوم) با E8 (شهرکرد سال دوم) و همبستگی محیط E7 (شهرکرد سال اول) با سه محیط E3 (گرگان سال اول)، E5 (مغان سال اول) و E6 (مغان سال دوم) در حد صفر (زاویه ۹۰ درجه) بود و

نامطلوب E5 (مغان سال اول) و E6 (مغان سال دوم) بودند. کواکترک (۱۹) در بررسی سازگاری ۱۴ ژنوتیپ سویا در چهار منطقه و سه سال گزارش کرده است که ژنوتیپهای BDSA 04, BDUS 05 و KAMA در محیطهای ایده‌آل و ژنوتیپ BATEM 223 در محیطهای فقیر دارای عملکرد مطلوبی بودند. همچنین چیلو (۹) رقم TGX 1988-22F سویا را به‌عنوان ژنوتیپ برتر و ایده‌آل با قابلیت سازگاری عمومی بالا گزارش کرده است. سایر محیطها به‌ترتیب E2 (کرج سال دوم)، E1 (کرج سال اول)، E4 (گرگان سال دوم)، E3 (گرگان سال اول)، E6 (مغان سال دوم) و E5 (مغان سال اول) از حیث مطلوبیت در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در همین ارتباط می‌توان گفت محیط E2 گرچه از نظر مطلوبیت در جایگاهی بعد از دو محیط E8 و E9 قرار می‌گیرد ولی می‌تواند برای گزینش منفی برخی ژنوتیپهای ناپایدار از جمله G9 و G10 مورد استفاده قرار گیرد. مقایسه محیطهای مطلوب در دو روش امی (AMMI) و GGE بای‌پلات نشان داد که در هر دو روش محیطهای E8 و E7 به‌عنوان مطلوب‌ترین محیطها انتخاب شدند. در حالیکه ضعیف‌ترین محیط در روش امی محیط E2 و در روش بای‌پلات محیطهای E5 و E6 بودند. دلیل آن این است که در روش امی مولفه‌های IPCA بطور جداگانه و در روش بای‌پلات همزمان هر دو مولفه IPC در گزینش محیط مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

براساس دو مولفه اول و دوم (PCA1, PCA2) و شاخص ASV روش امی ژنوتیپ G17 (Williams x Steel/L3) به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ پر محصول تعیین گردید. در حالیکه بر مبنای معیار بای‌پلات ژنوتیپهای G18 (Williams x Steel/L4) و G20 (شاهد/Williams) به‌ترتیب با عملکرد ۲۸۶۵ و ۲۹۲۷ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپها شناخته شدند. همچنین براساس هر دو روش GGE بای‌پلات و امی محیطهای E7 و E8 (شهرکرد سال اول و دوم) به‌عنوان مطلوب‌ترین محیطها انتخاب شدند و G18 و G20 که در تجزیه بای‌پلات مطلوب‌ترین ژنوتیپها بودند در این دو محیط نیز جزء چهار ژنوتیپ برتر بودند.

همبستگی دو محیط E6 (مغان سال دوم) و E4 (گرگان سال دوم) با یکدیگر در حد ۱- بود (شکل ۴). از طرف دیگر در این بررسی مشخص گردید که طول بردار محیطهای E7 (شهرکرد سال اول) و E8 (شهرکرد سال دوم) بلندتر از سایر محیطها بوده و لذا از قابلیت تمایز بیشتری برخوردار بودند و بیشترین توانایی را در شناسایی ژنوتیپهای برتر داشتند. در حالیکه محیطهای E5 (مغان سال اول)، E6 (مغان سال دوم)، E4 (گرگان سال دوم) و E2 (کرج سال دوم) با داشتن بردارهای کوتاهتر توان تمایز کمتری نسبت به E8 و E9 داشتند و بالاخره دو محیط E1 (کرج سال اول) و E3 (گرگان سال اول) نسبت به سایر محیطها کوتاهترین بردارها را داشتند و بنابراین از توانایی اندکی در شناسایی و تشخیص ژنوتیپهای برتر برخوردار بودند (شکل ۴).

شکل ۵ نمودار بای‌پلات محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد. محیط ایده‌آل محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز بین ژنوتیپها و نمایندگی از منطقه هدف باشد و از نظر مکانی در مرکز دایره هم‌مرکز قرار دارد. بر اساس یافته‌های یانگ (۳۵) یک محیط ایده‌آل باید دارای PC1 بالا (جهت تشخیص ژنوتیپ برتر) و PC2 حداقل (نماینده محیطها) باشد. میزان مطلوبیت محیط به فاصله آنها از محیط ایده‌آل بستگی دارد. محیطهای با قابلیت تمایز بالا توانایی بیشتری در تفکیک و شناسایی ژنوتیپهای برتر بر اساس عملکردشان دارند (۲، ۳ و ۳۳). مقایسه محیطهای مورد بررسی با محیط ایده‌آل نشان داد که محیط E8 (شهرکرد سال دوم) نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بوده و از حیث تمایز و نمایندگی موثرترین محیط می‌باشد. پس از این محیط E7 (شهرکرد سال دوم) کمترین فاصله را با محیط ایده‌آل داشته و دارای بیشترین شایستگی بود. همچنین زاویه بردارهای محیطی E7 و E8 با بردار محیط متوسط کمتر از سایر بردارهای محیطی است و بنابراین بهترین نماینده محیط متوسط هستند (شکل‌های ۴ و ۵). با مراجعه به شکل‌های ۳ و ۵ و جدول ۵ می‌توان دریافت که ژنوتیپهای G18، G20 و G15 دارای عملکرد بالا در محیطهای ایده‌آل بودند. در حالیکه G9 و G10 دارای عملکرد بالا در محیطهای

جدول ۲- میانگین مربعات عملکرد دانه یک‌ساله در مناطق آزمایشی

| منابع تغییر         | درجه آزادی | کرج ۱۳۹۳   | کرج ۱۳۹۴   | گرگان ۱۳۹۳ | گرگان ۱۳۹۴ | مغان ۱۳۹۳  | مغان ۱۳۹۴  | شهرکرد ۱۳۹۳ | شهرکرد ۱۳۹۴ |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| بلوک                | ۲          | ۸۶۷۷۳/۴**  | ۱۴۳۱۳/۵**  | ۴۶۷۳۱۴/۴** | ۹۸۶۰۰/۰**  | ۵۶۶۱۰۶/۵** | ۴۵۸۶۰/۳**  | ۳۰۵۷۶۶/۳**  | ۴۵۳۲۵۴/۶**  |
| ژنوتیپ              | ۱۹         | ۵۹۲۳۳۴/۹** | ۷۷۵۸۶۸/۴** | ۶۴۷۲۶۶/۹** | ۳۰۵۶۹۳/۲** | ۶۱۱۱۴۶/۶** | ۴۸۶۴۶۱/۷** | ۲۸۹۴۲۹۷/۴** | ۷۶۴۶۴۳۳/۹** |
| خطا                 | ۳۸         | ۱۲۸۲۴۳/۹   | ۹۲۴۴۵/۷    | ۴۱۳۹۱۶/۲   | ۳۶۹۲۵/۳    | ۲۳۶۳۷۴/۵   | ۴۵۴۲۷۵/۹   | ۲۱۳۱۷۲/۴    | ۱۷۲۶۴۰/۹    |
| ضریب تغییرات (درصد) |            | ۱۲/۹       | ۱۴/۵       | ۲۱/۷       | ۱۴         | ۲۰/۴       | ۲۲         | ۲۶/۱        | ۱۴/۷        |

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۳- تجزیه واریانس دو ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۴) عملکرد دانه ژنوتیپهای سویا

| منابع تغییر  | درجه آزادی | کرج          | گرگان        | مغان         | شهرکرد       |
|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| سال          | ۱          | ۱۷۷۰۵۴۷۳/۶** | ۷۵۴۰۶۲۸۰/۲** | ۱۱۱۹۹۶۳۰/۰** | ۳۳۰۷۶۰۵۰/۰** |
| بلوک (سال)   | ۴          | ۴۴۱۰۴۳/۵     | ۲۸۲۹۵۷/۲     | ۳۰۵۸۸۳/۳     | ۳۷۹۵۱۰/۴     |
| ژنوتیپ       | ۱۹         | ۹۶۹۴۹۳/۰**   | ۴۷۲۴۵۷/۳**   | ۷۶۲۹۹۶/۶**   | ۹۲۸۳۹۳۹/۱**  |
| ژنوتیپ × سال | ۱۹         | ۳۹۸۶۱۰/۳**   | ۴۸۰۵۰۲/۸**   | ۳۳۴۶۱۱/۸**   | ۱۲۵۶۷۸۲/۳**  |
| خطای آزمایشی | ۷۶         | ۱۱۵۳۳۴/۸     | ۲۲۵۴۲۰/۷     | ۳۴۵۳۲۵/۲     | ۱۹۲۹۰۶/۶     |
| ضریب تغییرات | -          | ۱۳/۷         | ۲۱/۹         | ۲۱/۸         | ۱۹/۱         |

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۴- میانگین مربعات عملکرد دانه و واریانس نسبی منابع تغییرات

Table 4. Mean of squares of seed yield and relative variance of source of variation

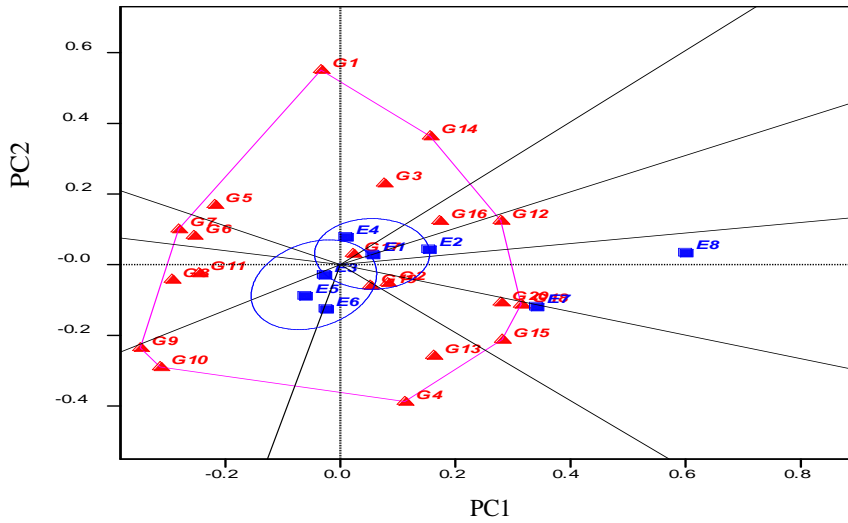
| منابع تغییر              | درجه آزادی | میانگین مربعات         | واریانس نسبی (%) |
|--------------------------|------------|------------------------|------------------|
| کل                       | ۴۷۹        | ۱۰۳۱۳۸۲                | ۱۰۰              |
| تیمار                    | ۱۵۹        | ۲۶۵۱۵۱۱ <sup>**</sup>  | ۰/۸۵             |
| ژنوتیپ                   | ۱۹         | ۳۰۹۵۴۵۳ <sup>**</sup>  | ۰/۱۲             |
| محیط                     | ۷          | ۲۲۳۳۷۴۹۴ <sup>**</sup> | ۰/۳۲             |
| بلوک                     | ۱۶         | ۳۵۲۳۸۹ <sup>ns</sup>   | ۰/۰۱             |
| اثر متقابل ژنوتیپ × محیط | ۱۳۳        | ۱۵۵۱۹۸۷ <sup>**</sup>  | ۰/۴۲             |
| IPCA1                    | ۲۵         | ۵۹۷۸۹۴۴ <sup>**</sup>  | ۰/۳۰             |
| IPCA2                    | ۲۳         | ۷۷۵۷۳۱ <sup>**</sup>   | ۰/۰۴             |
| باقیمانده                | ۸۵         | ۴۵۹۹۸۶ <sup>**</sup>   | ۰/۰۸             |
| خطا                      | ۳۰۴        | ۲۱۹۷۴۸ <sup>**</sup>   | ۰/۱۴             |

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۵- متوسط عملکرد، مقادیر مولفه اول امی و چهار ژنوتیپ برتر در محیط‌های آزمایشی

Table 5. Yield means, IPCA1 component and four superior genotypes of the experimental environment

| محیط                | عملکرد (Kg/h) | IPCA1 (AMMI1) | اولین ژنوتیپ | دومین ژنوتیپ | سومین ژنوتیپ | چهارمین ژنوتیپ |
|---------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| شهرکرد سال دوم (E8) | ۲۸۲۲          | ۶۴/۸          | G18          | G12          | G20          | G15            |
| شهرکرد سال اول (E7) | ۱۷۷۲          | ۲۸/۴۷         | G15          | G18          | G20          | G13            |
| کرج سال دوم (E2)    | ۲۱۰۳          | ۳/۲۷          | G12          | G20          | G14          | G18            |
| کرج سال اول (E1)    | ۲۸۷۱          | -۹/۹۲         | G20          | G14          | G12          | G2             |
| گرگان سال دوم (E4)  | ۱۳۷۱          | -۱۵/۵۷        | G7           | G14          | G1           | G8             |
| مغان سال دوم (E6)   | ۲۹۹۶          | -۲۱/۸۳        | G4           | G9           | G10          | G13            |
| گرگان سال اول (E3)  | ۲۹۵۷          | -۲۲/۴۶        | G8           | G7           | G11          | G9             |
| مغان سال اول (E5)   | ۲۳۸۵          | -۲۶/۷۶        | G8           | G9           | G10          | G7             |



شکل ۱- نمای چندضلعی بای‌پلات GGE بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌های سویا در محیط‌های آزمایشی (۸۲/۸٪ از واریانس G+GE توسط مولفه‌های PC1 و PC2 توجیه گردید)

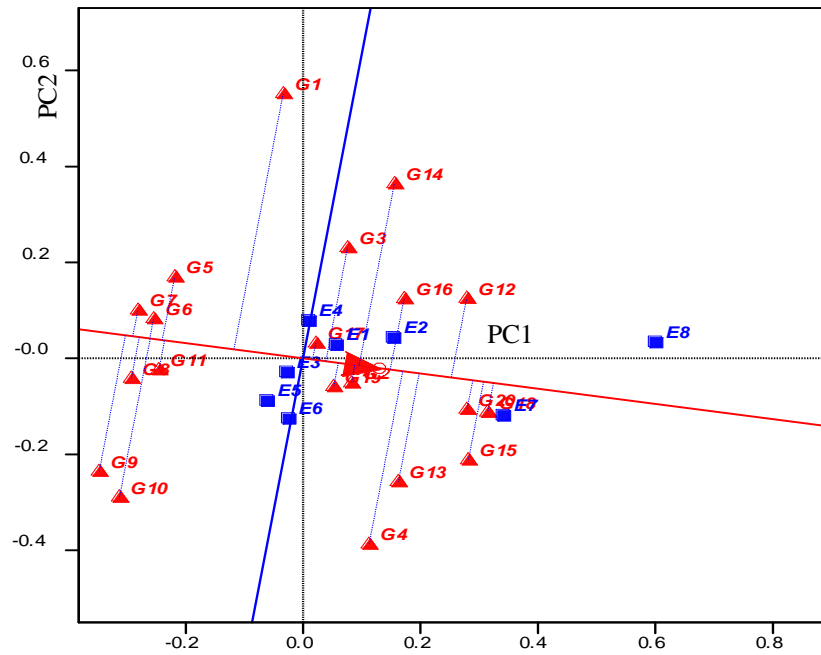
Figure 1. GGE biplot polygon view based on the performance of soybean genotypes in the experimental environments (82.8% of GGE variance was explained by PC1 and PC2 components)

جدول ۶- متوسط عملکرد، مقادیر مولفه‌های اصلی امی و آماره ASV برای ژنوتیپ‌های سویا

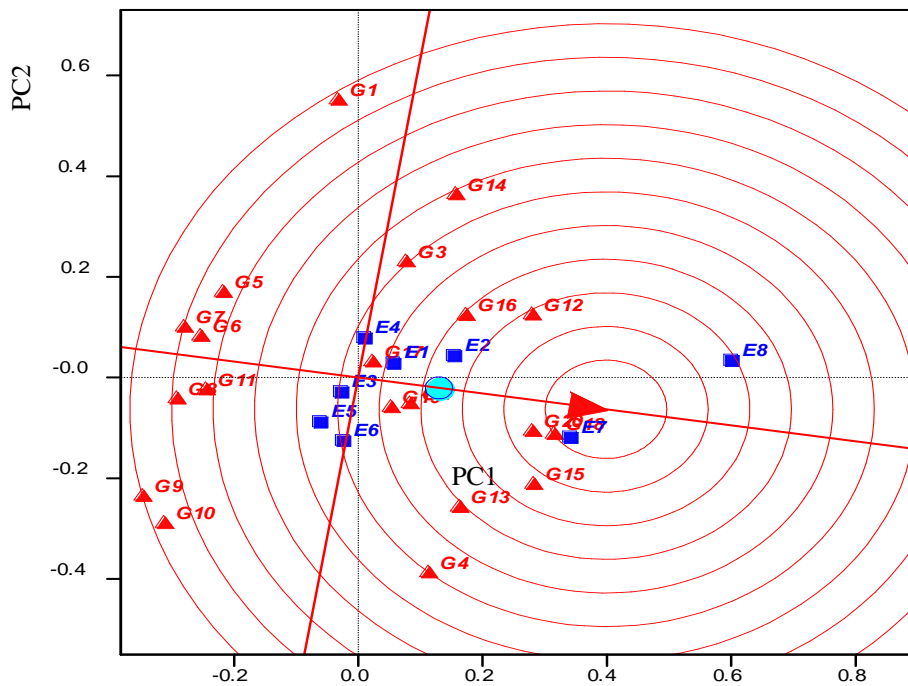
Table 6. Yield means, AMMI principal component values and ASV parameter for soybean genotypes

| ASV  | IPCA2 | IPCA1 | میانگین | شهرکرد ۱۳۹۴ (E8) | شهرکرد ۱۳۹۳ (E7) | مغان ۱۳۹۴ (E6) | مغان ۱۳۹۳ (E5) | گرگان ۱۳۹۴ (E4) | گرگان ۱۳۹۳ (E3) | کرج ۱۳۹۴ (E2) | کرج ۱۳۹۳ (E1) | شجره                         | شناسه ژنوتیپ |
|------|-------|-------|---------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|------------------------------|--------------|
| ۲۴/۷ | ۲۴/۶  | -/۵   | ۲۲۱۴    | ۲۷۰۹             | ۱۰۲۸             | ۲۵۴۶           | ۱۶۹۷           | ۲۳۲۵            | ۲۲۶۴            | ۲۴۳۶          | ۲۷۰۵          | (Telar × Liana/L8)           | G1           |
| ۱۴/۸ | ۱/۳   | ۵/۱   | ۲۶۱۵    | ۳۶۹۵             | ۱۷۴۱             | ۳۰۳۲           | ۲۷۷۸           | ۱۳۹۱            | ۲۶۸۵            | ۲۴۴۴          | ۲۱۵۰          | (Telar × Liana/L14)          | G2           |
| ۲۹/۴ | ۱۰/۱  | ۹/۵   | ۲۳۶۸    | ۳۷۹۰             | ۱۵۵۴             | ۲۵۰۶           | ۱۹۹۱           | ۱۵۳۰            | ۳۳۴۵            | ۱۶۰۴          | ۲۶۲۳          | (Telar × Liana/L16)          | G3           |
| ۳۱/۰ | -۱۹/۹ | ۸/۲   | ۲۶۲۸    | ۳۳۵۵             | ۲۸۶۹             | ۳۶۶۸           | ۲۳۹۵           | ۱۳۱۰            | ۲۹۶۹            | ۲۱۹۴          | ۲۲۶۴          | (Hacheston × L6/L6)          | G4           |
| ۳۸/۲ | ۳/۱   | -۱۳/۱ | ۱۸۳۴    | ۱۱۶۳             | ۱۱۰۲             | ۲۳۱۹           | ۲۲۱۵           | ۱۲۷۳            | ۲۴۱۷            | ۱۵۷۴          | ۲۶۱۲          | (Williams × G.non-Photo/L1)  | G5           |
| ۵۴/۸ | ۲/۸   | -۱۸/۹ | ۱۹۱۵    | ۱۰۴۷             | ۶۳۲              | ۳۰۲۴           | ۲۰۷۰           | ۹۹۴             | ۳۰۵۳            | ۱۹۳۷          | ۲۵۶۲          | (Williams × G.non-Photo/L2)  | G6           |
| ۷۸/۰ | ۱۰/۳  | -۲۶/۷ | ۲۱۵۵    | ۹۲۰              | ۴۴۶              | ۲۷۴۳           | ۳۰۷۲           | ۱۳۹۲            | ۳۴۳۷            | ۲۰۱۳          | ۳۲۱۴          | (Williams × G.non-Photo/L5)  | G7           |
| ۸۲/۳ | ۳/۸   | -۲۸/۴ | ۲۱۶۶    | ۸۵۹              | ۵۷۲              | ۳۱۰۸           | ۳۰۲۸           | ۱۵۵۲            | ۳۷۰۹            | ۱۷۷۱          | ۲۷۳۲          | (Williams × G.non-Photo/L7)  | G8           |
| ۸۷/۱ | -۱۱/۵ | -۲۹/۸ | ۱۹۲۸    | ۴۸۴              | ۵۴۸              | ۳۶۸۹           | ۲۷۷۱           | ۱۱۲۴            | ۳۰۱۳            | ۱۱۲۳          | ۲۶۷۵          | (Williams × G.non-Photo/L9)  | G9           |
| ۷۴/۸ | -۱۷/۱ | -۲۵/۲ | ۱۸۹۳    | ۶۸۷              | ۷۹۸              | ۲۵۴۷           | ۳۰۸۳           | ۱۰۰۹            | ۲۴۰۹            | ۱۱۷۰          | ۲۴۳۹          | (Williams × G.non-Photo/L10) | G10          |
| ۶۲/۵ | ۰/۵   | -۲۱/۶ | ۲۰۹۸    | ۹۹۷              | ۱۱۱۶             | ۳۱۸۲           | ۲۱۶۰           | ۱۷۰۷            | ۳۴۷۳            | ۱۴۳۰          | ۲۷۱۶          | (Williams × G.non-Photo/L11) | G11          |
| ۶۹/۲ | ۶/۲   | ۲۳/۸  | ۲۸۰۱    | ۴۶۹۷             | ۲۹۲۴             | ۲۶۵۹           | ۱۷۴۵           | ۱۷۲۲            | ۲۳۳۷            | ۲۵۱۴          | ۲۹۱۲          | (Will.82 × L87- 0174/L1)     | G12          |
| ۳۴/۳ | -۱۲/۸ | ۱۱/۰  | ۲۷۷۱    | ۳۵۸۷             | ۲۹۰۰             | ۳۶۶۸           | ۲۲۱۸           | ۱۲۲۰            | ۲۶۴۷            | ۲۵۸۰          | ۳۳۵۱          | (Will.82 × L87- 0174/L2)     | G13          |
| ۴۳/۱ | ۱۶/۹  | ۱۳/۷  | ۲۶۱۷    | ۴۰۷۰             | ۱۶۵۹             | ۲۸۶۷           | ۲۰۳۴           | ۱۶۴۵            | ۲۲۱۵            | ۲۷۹۱          | ۳۶۵۲          | (Will.82 × L87- 0174/L3)     | G14          |
| ۶۹/۷ | -۱۲/۶ | ۲۳/۷  | ۲۸۱۶    | ۳۹۹۶             | ۲۸۲۵             | ۳۱۶۶           | ۲۹۶۹           | ۱۲۰۸            | ۲۴۰۹            | ۲۱۵۶          | ۲۷۹۷          | (L17 × Lavina/L3)            | G15          |
| ۴۴/۷ | ۶/۵   | ۱۵/۳  | ۲۶۲۳    | ۴۴۲۶             | ۱۸۰۶             | ۲۶۲۴           | ۲۷۷۸           | ۱۲۷۵            | ۲۹۲۹            | ۲۴۸۱          | ۲۶۶۳          | (Williams × Steele/L2)       | G16          |
| ۵/۰  | ۱/۷   | ۱/۶   | ۲۴۴۹    | ۲۷۲۵             | ۳۰۷۸             | ۲۷۹۴           | ۱۹۵۶           | ۹۸۹             | ۳۱۳۱            | ۲۱۴۷          | ۳۷۷۶          | (Williams × Steele/L3)       | G17          |
| ۷۶/۹ | -۷/۳  | ۲۶/۴  | ۲۸۶۵    | ۴۷۶۸             | ۳۴۰۱             | ۲۸۰۶           | ۲۱۳۲           | ۱۰۵۳            | ۲۷۸۱            | ۲۴۳۲          | ۳۵۵۱          | (Williams × Steele/L4)       | G18          |
| ۱۱/۴ | -۳/۲  | ۳/۸   | ۲۵۱۲    | ۲۹۳۲             | ۲۲۶۲             | ۲۹۳۷           | ۲۴۹۵           | ۱۳۲۳            | ۲۷۰۲            | ۲۵۰۹          | ۲۹۳۵          | L8.P79                       | G19          |
| ۶۱/۴ | -۳/۴  | ۲۱/۲  | ۲۹۲۷    | ۴۵۳۷             | ۳۱۸۳             | ۳۰۳۸           | ۲۱۱۷           | ۱۳۸۲            | ۳۳۰۴            | ۲۷۵۷          | ۳۰۹۷          | Williams (Check)             | G20          |
| -    | -     | -     | ۲۴۱۰    | ۲۸۲۲             | ۱۷۷۲             | ۲۹۹۶           | ۲۳۸۵           | ۱۳۷۱            | ۲۹۵۷            | ۲۱۰۳          | ۲۸۷۱          | میانگین                      |              |
|      |       |       |         | ۶۸۷              | ۷۶۳/۴            | ۱۱۱۴/۴         | ۸۰۳/۹          | ۳۱۷/۷           | ۱۰۶۳/۷          | ۵۰۲/۷         | ۶۱۴/۸         | LSD <sub>0.05</sub>          |              |

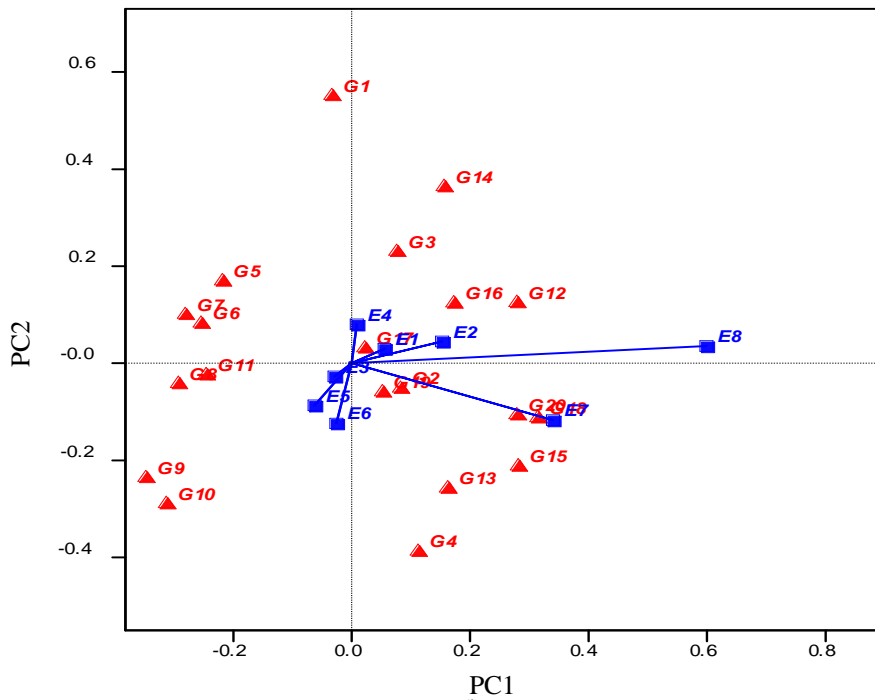




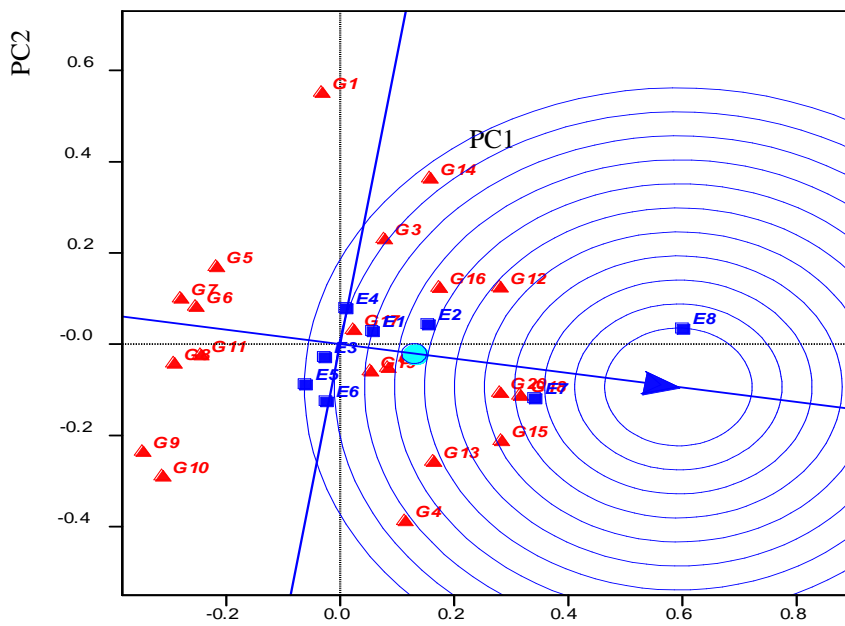
شکل ۲- مقایسه و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های سویا بر اساس عملکرد و پایداری در بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC)  
 Figure 2. Comparison and ranking of soybean genotypes based on their performance and stability in average environment coordinate biplot (AEC)



شکل ۳- مقایسه و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های سویا مبتنی بر عملکرد و پایداری در نمای بای پلات ژنوتیپ ایده‌آل  
 Figure 3. Comparison and ranking of soybean genotypes based on yield and stability in the ideal genotype biplot schema



شکل ۴- روابط متقابل میان محیط‌های آزمایشی در نمای برداری بای پلات GGE  
 Figure 4. Interactions among the Experimental Environments in the GGE Biplot vector view



شکل ۵- مقایسه و رتبه‌بندی محیط‌های آزمایشی مبتنی بر توانایی تمایز و نمایندگی در نمای بای پلات محیط ایده‌آل  
 Figure 5. Comparing and ranking of experimental environments based on discriminating ability and representativeness in an ideal environment biplot view.

منابع

1. Akcura, M., S. Taner and Y. Kaya. 2011. Evaluation of bread wheat genotypes under irrigated multi-environment conditions using GGE biplot analyses. *Agriculture Journal*, 98(1): 35-40.
2. Amira, J.O., D.K. Ojo, O.J. Ariyo, O.A. Oduwaye and M.A. Ayo-Vaughan. 2013. Relative Discriminating Powers of GGE and AMMI Models in the selection of Tropical Soybean Genotypes. *African Crop Science Journal*, 21(1): 67-73.
3. Alake, C.O. and O.J. Ariyo. 2012. Comparative Analysis of Genotype  $\times$  Environment Interaction Techniques in West African Okra. *Journal of Agricultural Science*, 4(4): 135-150.
4. Atnaf, M., S. Kidane, S. Abadi and Z. Fisha. 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.
5. Basford, K.E. and M. Cooper. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49: 154-175.
6. Bhartiya, A., J.P. Aditya, K.S. Pushpendra, J.P. Purwar and A. Agarwal. 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.
7. Campbell, B.T. and M.A. Jones. 2005. Assessment of genotype  $\times$  environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica*, 144: 69-78.
8. Chaudhary, K.J. and J. Wu. 2012. Stability analysis for yield and seed quality of soybean (*Glycine max*) across different environment in eastern South Dakota. Annual Conference on Applied Statistics in Agriculture [Online]. Available at <http://newprairiepress.org/agstatconference/2012/proceedings/11>
9. Cheelo, P., D. Lungu and M. Mwala. 2017. GGE biplot analysis for identification of ideal soybean (*Glycine max* L. Merrill) test and production locations in Zambia. *Journal of Experimental Agriculture International*, 15(3): 1-15.
10. Dadras, A. R., H. Samizadeh and H. Sabouri. 2015. Evaluation of soybean varieties and advanced lines yield under drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Breeding*, 23(9): 18-26.
11. Eberhart, S.A. and W.A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6: 36-40.
12. Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742-754.
13. Edugbo, R.E., G.E. Nwofia and L.S. Fayeun. 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.
14. Eskridge, K.M. 1996. Analysis of multi environment trial using the probability of outperforming a check. In: M.S. Kang and J. Guach. (eds.) *Genotype by Environment Interaction*, CRC Press. London., UK., 273 -307 pp.
15. Gauch, H.G.J. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M.S. Kang and J. Guach, (eds.) *Genotype by environment interaction*, CRC Press, London, UK, 85-122 pp.
16. Gurm, F., H. Mohammed and G. Alemaw. 2009. Genotype  $\times$  Environment interactions and stability of soybean for grain yield and nutrition quality. *African Crop Science Journal*, 17: 87-99.
17. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials. Consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85: 754-757.
18. Kaya, Y., M. Akçura and S. Taner. 2006. GGE biplot analysis of multi environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30: 325-337.
19. Kocaturk, M., P. Cubukcu, A.T. Goksoy, M. Sincik, E. Ilker, A. Kadiroglu, Y. Vurarak, Y. Sahin, M. Karakus and U.A. Yildirim. 2019. GGE biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction in soybean grown as second crop. *Turkish Journal Field Crops*, 24(2): 145-154.
20. Pacheco, R.M., J.B. Duarte, P.I.M. Souza, S.A. Silva and J. Nunes. 2009. Key locations for soybean genotype assessment in Central Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44(5): 478-486.
21. Payne, R.W., S.A. Harding, D.A. Murray and D.M. Soutar. 2009. *GenStat Release 12*. Published by VSN International, 5 The Waterhouse, Waterhouse Street, Hemel Hempstead, and Hertfordshire HP1 1ES, UK.
22. Ramos, J.E.U., R.L. Brogin, V.P.C. Godinho, F.J.E. Botelho, F.D. Tardin and P.E. Teodoro. 2017. Identification of soybean genotypes with high stability for the Brazilian macro-region 402 via biplot analysis. *Genetics and Molecular Research*, 16(3): 1-10.

23. Roshandel, M., A.R. Pourmohammad, H.R. Babaei and F. Shekari. 2016. Grain yield stability analysis of soybean genotypes by AMMI method. *Azarian Journal of Agriculture*, 6(3): 119-128
24. Samonte, P.B., L.T. Wilson, A. McClung and J.C.M. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45: 2414-2424.
25. Silveira, D.A., L.F. Pricinotto, M. Nardino, C.A. Bahry, C.E. Cavenaghi Prete and L. Cruz. 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 [Online]. Available at <https://www.researchgate.net/publication/311849977>.
26. Soltanmohamadi, S., S.A. Peyghambri and H.R. Babaei. 2017. Study the adaptability and yield sustainability of soybean genotypes in four regions of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(2): 389-397.
27. Sousa, L.B., O.T. Hamawaki, A.P.O. Nogueira, R.O. Batista, V.M. Oliveira and R.L. Hamawaki. 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.
28. Tarakanovas, P. and A. Sprainaitis. 2005. Main additive effect and multiplicative interaction analysis of white clover genetic resources. *Biologija*, 4: 38-42.
29. Yan, W. 1993. The interconnectedness among the traits of wheat and its implication in breeding for higher yield. *Cereal Crops*, 1993(1): 43-45.
30. Yan, W. 2000. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi- environment trial data. *Agronomy Journal*, 94: 990-996.
31. Yan, W. and L.A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*, 42: 21-30.
32. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.
33. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and agronomists, CRC Press, London, UK.
34. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*, 47: 643-655.
35. Yang, R., J. Crossa, P.L. Cornelius and J. Burgueno. 2009. Biplot analysis of GEI effect. *Crop Science*, 49: 1564-1576.
36. Yates, F. and W.G. Cochran. 1956. The analysis of experiments. *Journal of Agronomic Science*, 14: 742-754.

## Study on Adaptability and Grain Yield Stability of Soybean Genotypes [*Glycine Max* (L.) Merrill] Through AMMI & GGE Biplot Analysis

Hamid Reza Babaei<sup>1</sup>, Nasrin Razmi<sup>2</sup>, Ebrahim Hazarjaribi<sup>3</sup> and Mojtaba Hashemijazi<sup>4</sup>

- 
- 1- Research Assistant of Professor of Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, (Corresponding author: 30241hrbabaei@gmail.com)  
2- Research Assistant of Professor of Horticulture Crops Research Department of Center of Agricultural Research and Natural Resources Ardabil Province (Parsabad Moghan), AREEO, Parsabad Moghan, Iran  
3- Research tutor of Horticulture Crops Research Department of Center of Agricultural Research and Natural Resources Golestan Province (Gorgan), AREEO, Gorgan, Iran  
4- Research Expert of Center of Agricultural Research and Natural Resources Chaharmahal and Bakhtiari Province, AREEO, Sharekord Iran
- 
- Received: October 20, 2019      Accepted: August 1, 2021
- 

### Abstract

Selection of desirable genotypes with high yield and stability is the main goal of most soybean breeding programs. The aim of this study was to evaluate the grain yield and stability of 19 pure soybean lines along with Williams's control (20 genotypes) during two cropping years (2014-2015) in four regions: Karaj, Gorgan, Moghan and Shahrekord. A randomized complete block design with three replications was used in all experimental areas. The AMMI and GGE Biplot methods were used to determine the compatibility and stability of performance. Combined analysis of variance showed significant effects of environment, genotype, genotype  $\times$  environment interaction, and components of IPCA1 and IPCA2 (AMMI analysis) at 1% level of significance. Genotype  $\times$  environment interaction variance accounted for 42% of the total variance and the two components of IPCA1 and IPCA2 accounted for 81% of the total variance. Based on AMMI criteria (IPCA1, IPCA2 and ASV) genotype G17 (Williams  $\times$  Steel / L3) with yield of 2449 kg ha<sup>-1</sup> was determined as the most stable genotype while based on GGE biplot G18 (Williams  $\times$  Steel/L4) with 2865 kg ha<sup>-1</sup> and G20 (Williams/Check) with 2927 kg ha<sup>-1</sup> yield were identified as the most favorable genotypes. Also environments: E7 and E8 (first and second year Shahrekord) were selected as the most favorable environments and genotypes: G18 and G20 based on GGE biplot were also among the top four genotypes of the two environments. Two mega environments were identified in the bi-plot analysis that the first mega environment includes the E3 (Gorgan first year), E5 (Moghan first year) and E6 (moghan second year) and the second mega environment includes the E1 (Karaj first year) and E2 (karaj second year) and E4 (Gorgan second year).

**Keywords:** Favorable Environments, Genotype  $\times$  Environment Ideal Genotype, Interaction, Mega Environment