



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا در محیط‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری و روش‌های گرافیکی GGE بای پلات

نسرین رزمی^۱، بهرام مسعودی^۲، ابراهیم هزارجریبی^۳، سیدعباسعلی اندرخور^۴، ابوالفضل فرجی^۵ و شهریار کیا^۶^۱-استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (پارس‌آباد مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد، ایران، (نویسنده مسوول: n.razmi@areeo.ac.ir)^۲-استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران^۳-استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران^۴-استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران^۵-استاد بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران^۶-استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱

صفحه: ۷۴ تا ۸۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شرایط محیطی و به‌خصوص تفاوت طول روز ناشی از عرض جغرافیایی مهمترین عامل محیطی در تعیین سازگاری ژنوتیپ‌های سویا در اقلیم‌های متفاوت می‌باشد. پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط مختلف محیطی نتیجه اثر متقابل ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط است. ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای افزایش کارایی برنامه‌های اصلاحی و انتخاب ارقامی که در دامنه وسیع‌تری از محیط‌های متفاوت عملکرد دائمی بالایی داشته باشند ضروری است.

مواد و روش‌ها: تعداد ۲۳ ژنوتیپ سویا با دو رقم شاهد (صبا و امیر) در سه منطقه گرگان، ساری و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷) مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها برای هر منطقه بطور جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و برای کلیه مناطق تجزیه واریانس مرکب انجام گرفت. از آماره‌های تک‌متغیره ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها استفاده شد. به منظور تحلیل بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ با مکان از تجزیه مدل GGE بای پلات استفاده گردید.

یافته‌ها: تجزیه مرکب داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن اثر مکان، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای عملکرد دانه بود. بر اساس پارامترهای پایداری محاسبه شده، ژنوتیپ G18 دارای عملکرد بیشتر از میانگین کل، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک و کمترین واریانس انحراف از خط رگرسیون بود. ژنوتیپ‌های G16 و G23 نیز به ترتیب در رتبه بعدی قرار داشتند. نتایج فوق در تجزیه بای پلات نیز مورد تایید قرار گرفت. بررسی همزمان اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با خط متوسط عملکرد محیطی (AEC) از بای پلات نشان داد ژنوتیپ‌هایی نزدیک به خط AEC شامل G22، G23 و G17 در برهمکنش نقش کمتری داشته و جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. همچنین ژنوتیپ‌های G16، G18 و G6 در جزو ژنوتیپ‌هایی با پایداری متوسط محسوب می‌شوند. نمای برداری GGE بای پلات نشان داد محیط‌ها به دو و ژنوتیپ‌ها به سه گروه تفکیک شدند. در اولین گروه محیطی (مغان و گرگان) ژنوتیپ‌های G2، G15 و G18 بیشترین عملکرد را داشتند. در دومین گروه محیطی (ساری) ژنوتیپ G1 بیشترین عملکرد را داشت. ژنوتیپ‌های G9، G10، G13 و G8 در هیچ یک از محیط‌ها برتر نبودند و کمترین متوسط عملکرد را در تمامی محیط‌ها داشتند. **نتیجه‌گیری:** ژنوتیپ G18 (Sari × Charleston) نوسانات کمتری را در محیط‌های مورد آزمایش نشان داد و با میانگین عملکرد ۳۴۲۱ کیلوگرم در هکتار در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار داشت و می‌توان از آن در برنامه‌های اصلاحی آبی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، پارامترهای پایداری، ژنوتیپ‌های پایدار

مقدمه

دانه سویا *Glycine max* (L.) Merrill حاوی ۲۰ درصد روغن بوده و مصرف روغن آن به خاطر غنی بودن از اسیدهای چرب امگا۳ و امگا۶ توصیه می‌شود (۱). میانگین پروتئین دانه آن ۴۰ درصد با نسبت متعادل اسیدهای آمینه می‌باشد (۱۱).

عملکرد سویا یک ویژگی کمی پیچیده است که توسط ژن‌های متعددی کنترل می‌شود و تحت تاثیر اثرات متقابل چند جانبه محیط با ژنوتیپ می‌باشد (۱۲). شرایط محیطی و به خصوص فتوپریود یا تفاوت طول روز ناشی از عرض جغرافیایی مهمترین عامل محیطی در تعیین سازگاری ژنوتیپ‌های سویا در اقلیم‌های متفاوت می‌باشد (۲). پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط مختلف محیطی نتیجه اثر متقابل ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط (GGE) است. اطلاعات و درک GGE برای تعیین سطح تنوع عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متعدد و انتخاب ارقامی که در دامنه وسیع‌تری از

محیط‌های متفاوت عملکرد دائمی بالایی داشته باشند و همچنین برای افزایش کارایی برنامه‌های اصلاحی و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها ضروری است (۱۳). سه روش عمده برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وجود دارد. اولین راه، شناسایی ژنوتیپ‌های خاص برای هر محیط است. راه دوم انجام منطقه‌بندی اکولوژیکی و تقسیم یک منطقه به مناطق همگن‌تر است. سومین و پرکاربردترین روش شناسایی ارقام با پایداری فنوتیپی بالا است. این استراتژی شامل شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که در برابر تغییرات محیطی پایدارتر بوده و در مکان‌های مختلف عملکرد بالاتری دارند (۱۶). به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه سویا در محیط‌های مورد نظر و تعیین کمیت سازگاری و پایداری ارقام، انجام آزمایشات چند محیطی امری عادی و اساسی است (۶).

پایداری به توانایی نسبی ژنوتیپ‌ها برای انطباق با نوسانات آب و هوایی طی سال‌های زراعی در چند مکان مشخص اشاره دارد (۱۴). همچنین ژنوتیپ‌های منتخب باید نسبت به

مهم این روش می‌باشد. بیشترین کاربرد روش GGE بای پلات ارزیابی ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌های متنوع می‌باشد. همچنین در مواردی که تعداد زیادی ژنوتیپ در مراحل اولیه بررسی ژنوتیپ‌ها به منظور حذف ژنوتیپ‌های نامطلوب در مکان‌های محدود مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (۳). وو و همکاران (۲۲) سازگاری و پایداری ۱۲۱ ژنوتیپ سویا را در سه مکان با استفاده از روش GGE بای پلات مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ژنوتیپ محلی پاپوچ بیشترین میزان عملکرد دانه و پروتیین را در مکان هاربین نشان داد. لی و همکاران (۱۶) پایداری عملکرد ۱۷۳ ژنوتیپ سویا را در سه منطقه اکولوژیکی متفاوت مورد ارزیابی قرار داده و بر معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه و سایر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تاکید کردند. این آزمایش به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار سویا با استفاده از ۲۳ ژنوتیپ به همراه ارقام تجاری صبا و امیر به عنوان شاهد در سه منطقه گرگان، ساری و مغان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۳ لاین سویا (حاصل از برنامه‌های اصلاحی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) به همراه دو رقم شاهد (صبا و امیر) در سه منطقه گرگان، ساری و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷) کشت شدند. اطلاعات اقلیمی مکان‌های اجرای آزمایش در جدول شماره ۱ و نام و شجره و گروه رسیدگی هر کدام از لاین‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

عملیات زراعی که از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت می‌باشد سازگاری داشته باشند (۲). ویژگی اصلی مورد جستجو در یک رقم سویا در یک برنامه اصلاح‌نژاد، عملکرد بالا، همراه با خصوصیات زراعی مناسب مانند تشکیل اولین غلاف در ارتفاع بالاتر، مقاومت به ریزش و مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها است (۳). روش‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل آزمایشات چند منطقه‌ای به منظور بدست آوردن الگوی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و برآورد پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها وجود دارد (۲۵) و هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد. تعداد ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مکان‌های هدف، دقت آزمایش و اهداف اصلاحی در تعیین نوع روش ارزیابی نقش اساسی دارند (۸). شاخص پایداری اکووالانس ریک (۲۱) یکی از مهمترین روش‌های تعیین پایداری است و برای هر ژنوتیپ مستقیماً به اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بستگی دارد. واریانس پایداری شوکلا (۲۰) نیز مشابه اکووالانس ریک است و مجموع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را به اجزای مرتبط به هر یک از ژنوتیپ‌ها تقسیم و سهم هر یک را در تشکیل این اثر متقابل تعیین می‌کند. در روش ضریب شیب خط رگرسیون اگر ژنوتیپی دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک باشد، به عنوان ژنوتیپی با پایداری متوسط معرفی می‌شود (۱۰).

GGE بای پلات روابط میان ژنوتیپ‌ها، مکان‌های مورد آزمایش و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و یک روش موثر کاربردی برای توصیه ژنوتیپ‌های خاص برای ماکرو اقلیم‌ها می‌باشد (۷). میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها در این روش مورد بررسی قرار گرفته و قابلیت محیط‌های هدف در تمایز ژنوتیپ‌ها از ویژگی‌های

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اکولوژیکی مناطق اجرای پروژه

Table 1. Geographical and ecological coordinates at the experimental field

| ایستگاه تحقیقاتی | | | پارامترها |
|----------------------|-------------|-------------|----------------------|
| مغان | گرگان | ساری | |
| طول جغرافیایی | ۵۴/۲۰ شرقی | ۵۳/۱۰ شرقی | طول جغرافیایی |
| عرض جغرافیایی | ۳۶/۵۵ شمالی | ۳۶/۴۱ شمالی | عرض جغرافیایی |
| ارتفاع از سطح دریا | ۵۵ | ۲۹ | ارتفاع از سطح دریا |
| میزان بارندگی سالانه | ۴۶۸ | ۶۵۰ | میزان بارندگی سالانه |
| میانگین دمای حد اقل | ۳ | ۶/۲۱ | میانگین دمای حد اقل |
| میانگین دمای حداکثر | ۳۳/۲ | ۴۳/۱۲ | میانگین دمای حداکثر |

جدول ۲- نام و شجره لاین‌های مورد بررسی

Table 2. Name and pedigree of the studied genotypes

| شماره ژنوتیپ | شناسه | شجره | گروه رسیدگی |
|--------------|-------|--------------------|-------------|
| ۱ | G1 | Hamilton×Karbin | III |
| ۲ | G2 | Hamilton×Karbin | IV |
| ۳ | G3 | Hamilton×Karbin | III |
| ۴ | G4 | Hamilton×Karbin | III |
| ۵ | G5 | Valenta×Karbin | III |
| ۶ | G6 | Valenta×Karbin | III |
| ۷ | G7 | Valenta×Karbin | III |
| ۸ | G8 | Sepideh × Sari | III |
| ۹ | G9 | Hamilton×TMS | III |
| ۱۰ | G10 | Hamilton×TMS | III |
| ۱۱ | G11 | Hamilton×TMS | III |
| ۱۲ | G12 | Hamilton×TMS | III |
| ۱۳ | G13 | Valenta×TMS | II |
| ۱۴ | G14 | Sepideh × Hamilton | III |
| ۱۵ | G15 | Hamilton × Sari | IV |
| ۱۶ | G16 | Hamilton×Gorgan3 | IV |
| ۱۷ | G17 | Telar × Williams | IV |
| ۱۸ | G18 | Sari × Charleston | IV |
| ۱۹ | G19 | Sari ×Charleston | IV |
| ۲۰ | G20 | Sari × Charleston | III |
| ۲۱ | G21 | Sari × Charleston | III |
| ۲۲ | G22 | Williams × Clary | IV |
| ۲۳ | G23 | Sahar × Sari | IV |
| ۲۴ | G24 | صبا(Saba) | III |
| ۲۵ | G25 | امیر(Amir) | V |

متقابل مکان و ژنوتیپ برای عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر مکان نشان می‌دهد که عوامل جوی (میزان بارندگی، طول روز، حداقل و حداکثر دما هوا) و همچنین عوامل جغرافیایی (طول عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب اختلاف در میزان عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شده است. تغییرات در شرایط محیطی از جمله اثر مکان، نوسانات فصلی و اثر متقابل آنها با هم به شدت بر عملکرد ژنوتیپ‌ها در رابطه با پتانسیل عملکرد تاثیر دارد (۱). محققین دیگر نیز در آزمایشات پایداری خود به معنی دار بودن اثرات مکان و ژنوتیپ در ژنوتیپ‌های سویا اشاره نموده‌اند (۹). برای تشخیص ژنوتیپی که در تمام مناطق عملکرد قابل قبولی داشته و سازگاری وسیعی را با محیط‌های مختلف دارا باشد، بایستی اقدام به بررسی سازگاری ژنوتیپ‌ها و پایداری عملکرد آنها در محیط‌های مختلف نمود که این امر با استفاده از برآورد آماره‌های پایداری مورد نظر انجام پذیرفت و انتخاب برترین ژنوتیپ، با توجه به میانگین عملکرد بالاتر و نوسان عملکرد کمتر انجام شد (۱۰). معیارهای پایداری عملکرد با استفاده از روش‌های مختلف تعیین شد (جدول ۴) و نتایج نشان داد که میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه معنی‌دار است و همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده گردید اثر متقابل بین ژنوتیپ و مکان معنی‌دار بود و شیب خط رگرسیون ژنوتیپ‌ها متفاوت است. بر اساس روش رگرسیون میانگین عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های G6، G9، G13 و G10 به ترتیب با ضریب رگرسیون بیشتر از یک دارای حساسیت بیشتری به تغییرات محیطی بوده و سازگاری خصوصی بیشتری به محیط‌های پر بارده دارند در حالی که

عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دو دیسک عمود برهم، تسطیح و کوددهی بر اساس نیاز غذایی خاک و ایجاد جوی و پشته به فواصل ۶۰ سانتی‌متر بود. هر ژنوتیپ در ۵ خط ۴ متری با فاصله دو بوته روی هر خط ۵-۳ سانتی‌متر کشت گردید. در طی فصل رشد مراقبت‌های زراعی لازم از جمله آبیاری، مبارزه با آفات و علف‌های هرز انجام پذیرفت. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی عملکرد دانه هر ژنوتیپ با حذف اثر حاشیه برداشت و با احتساب ۱۲ درصد رطوبت بذر و بر اساس کیلوگرم در هکتار ثبت شد. نتایج مربوط به عملکرد دانه ارقام برای هر منطقه بطور جداگانه مورد تجزیه واریانس و برای کلیه مناطق مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. سپس از آماره‌های تک متغیره ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها استفاده شد و در نهایت به منظور تحلیل بهتر تاثیر متقابل ژنوتیپ با محیط از تجزیه مدل GGE بای‌پلات استفاده گردید. از نرم افزارهای SAS و v.12 GenStat جهت تجزیه‌های آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

نتیجه آزمون بارتلت برای تمامی محیط‌ها، همگن بودن واریانس‌های خطا را نشان داد. تجزیه واریانس ساده برای هر کدام از محیط‌ها به طور جداگانه انجام شد ($p \text{ value} = 0.201$ و $3.22 = \text{Chi Square}$). نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در تمامی محیط‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر مکان، ژنوتیپ و اثر

این است که نتایج حاصل از بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از دو پارامتر اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا با هم مشابه می‌باشند که این موضوع حاکی از تشابه این دو پارامتر در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. فرریا و همکاران (۱۱) سازگاری و پایداری ۱۰ ژنوتیپ سویا را به همراه دو رقم تجاری در هشت منطقه از برزیل را به مدت دو سال با استفاده از روش‌های آماری مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که ژنوتیپ‌های UEL110, UEL122, UEL121 و UEL123 از بیشترین مقدار پایداری برخوردار بوده و قابلیت معرفی به عنوان ارقام جدید را دارند. در این بررسی پارامتر ابراهارت و راسل و روش کروز با پارامتر اکووالانس ریک همبستگی بالایی نشان داد. مشابه بودن نتایج دو آماره اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۱۸،۲۳).

ژنوتیپ‌های G2, G15, G22 و G16 به ترتیب با ضریب رگرسیون کمتر از یک دارای تحمل بیشتری به تغییرات محیطی بوده و سازگاری بیشتری با محیط‌های کم بازده دارند. بر اساس روش پیشنهادی شوکلا، هرچه مقدار واریانس پایداری شوکلا کمتر باشد، رقم پایدارتر می‌باشد، بنابراین ژنوتیپ‌های G17, G19, G4 و G12 به ترتیب دارای کمترین میزان واریانس پایداری شوکلا در بین ارقام مورد بررسی بوده و به عنوان ارقام پایدار شناسایی شدند. همچنین ژنوتیپ‌های G2, G15, G1 و G9 به ترتیب دارای بیشترین میزان واریانس پایداری شوکلا بودند و به عنوان ارقام با پایداری پائین مشخص شدند. ژنوتیپ‌های G17, G19, G4 و G12 با کمترین اکووالانس ریک پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G2, G15, G1 و G9 به ترتیب دارای بیشترین میزان اکووالانس ریک بوده و به عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری پائین شناسایی شدند. بررسی نتایج جدول ۴ حاکی از

جدول ۳- تجزیه واریانس ساده صفت عملکرد دانه سویا در مکان‌های مختلف

Table 3. Simple analysis of variance of grain yield of soybean in experimental locations

| میانگین مربعات عملکرد دانه | | | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| مغان | ساری | گرگان | | |
| 7143771/4 ^{NS} | 386382/8 ^{NS} | 3860200/5 [*] | 2 | تکرار Rep |
| 439677/5 ^{**} | 504080/8 ^{**} | 2401504/1 ^{**} | 24 | ژنوتیپ Genotype |
| 176716/2 | 126456/8 | 793331 | 48 | خطای آزمایشی Error |
| 15/75 | 13/26 | 24/14 | | ضریب تغییرات C.V (%) |

^{NS} و ^{**}: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه در مکان‌های مختلف

Table 4. Combined analysis of variance of grain yield per in experimental locations

| میانگین مربعات عملکرد دانه | | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|----------------------------|--------------------------|------------|---------------|
| مکان | ژنوتیپ | | |
| 113098/58 ^{NS} | 113098/58 ^{NS} | 2 | مکان |
| 1463451/58 ^{**} | 1463451/58 ^{**} | 6 | اشتباه ۱ |
| 1390773/35 ^{**} | 1390773/35 ^{**} | 24 | ژنوتیپ |
| 977244/56 ^{**} | 977244/56 ^{**} | 48 | ژنوتیپ × مکان |
| 365534/6 | 365534/6 | 144 | اشتباه ۲ |
| 12/56 | 12/56 | | ضریب تغییرات |

^{NS} و ^{**}: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ارزیابی قرار داده و ژنوتیپ‌های Giza 111 و Giza 21 را به عنوان ارقام با عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند. نمایش چندضلعی حاصل از تجزیه GGE بای‌پلات ۲۵ ژنوتیپ در ۳ محیط در شکل ۱ نشان داده شده است. دو مولفه اصلی اول مدل رگرسیون مکانی، ۹۰ درصد از کل تغییرات مشاهده شده (مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط) را توجیه نمودند. ژنوتیپ‌های تشکیل دهنده رئوس چند ضلعی (G1, G9, G13, G14, G2 و G18) بهترین و یا ضعیف‌ترین عملکرد دانه را در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها داشتند، چراکه آنها بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات را دارند. با توجه به خطوط عمودی بر هر ضلع چند ضلعی، محیط‌ها به دو و ژنوتیپ‌ها به سه گروه تفکیک شدند. در اولین گروه محیطی (۲ منطقه از ۳ منطقه اجرای آزمایش) واقع شده‌اند و ژنوتیپ‌های G2, G15, G18 بیشترین عملکرد را در این محیط‌ها داشتند. در دومین گروه محیطی (ساری) ژنوتیپ G1 بیشترین عملکرد را داشت. ژنوتیپ‌های G9, G13, G10, G5, G12 و G8 و صبا در هیچ یک از محیط‌ها برتر نبودند و

متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی، سهم هر ژنوتیپ و محیط را توضیح می‌دهد. بر اساس روش واریانس انحراف از خط رگرسیون، هرچه مقدار واریانس انحراف نزدیک به صفر یا حداقل باشد، ژنوتیپ‌ها پایدارتر هستند، بنابراین ژنوتیپ‌های G18, G9, G15 و G23 به ترتیب دارای کمترین میزان واریانس انحراف از خط رگرسیون بوده و بنابراین به عنوان ارقام پایدار شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های G1, G11, G21 و G22 دارای بیشترین میزان واریانس انحراف از خط رگرسیون بوده و به عنوان ارقام با پایداری پائین مشخص شدند. در کل ژنوتیپ G18 بر اساس کلیه پارامترهای پایداری مورد محاسبه دارای عملکرد بیشتر از میانگین کل، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک و کمترین واریانس انحراف از خط رگرسیون بوده و می‌تواند به عنوان ژنوتیپ پایدار انتخاب شود. موری و همکاران (۱۷) پایداری ۲۶ ژنوتیپ سویا را در سه منطقه به مدت ۴ سال با استفاده از ضریب رگرسیون و واریانس پایداری شوکلا مورد

کمترین متوسط عملکرد را در تمامی محیط‌ها داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های واقع در نزدیکی مرکز بای‌پلات (G3، G4، G17) ضمن داشتن عملکردی متوسط، از کمترین برهمکنش ژنوتیپ × محیط برخوردار بودند و می‌توان گفت که از سازگاری عمومی خوبی برخوردار می‌باشند. نمودار GGE بای‌پلات محققان را قادر می‌سازد تا متوسط عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را به سهولت و سرعت مقایسه کنند (۹).

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و مقادیر برخی آماره‌های پایداری برای ژنوتیپ‌های سویا در محیط‌های مختلف آزمایش
Table 5. Means of grain yield and values of some stability statistics for soybean genotypes in experimental locations

| شماره لاین | میانگین عملکرد دانه | اکووالانس ریک (W_i^2) | واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) | ضریب رگرسیون (b_i) | واریانس انحراف از خط رگرسیون (S_{di}^2) |
|------------|---------------------|---------------------------|--|------------------------|---|
| G1 | ۲۵۶۱/۶ | ۱۶۸۳۵۷۵ | ۹۰۰۸۳۳/۲ | ۱۱/۰ | ۱۹۷۴۴۳/۱ |
| G2 | ۳۳۹۴/۴ | ۳۷۴۵۳۴۷ | ۲۰۲۱۲۹۸ | -۳۳/۶۳ | ۱۸۳۶۴/۲ |
| G3 | ۲۳۹۵/۵ | ۱۱۵۷۲۸ | ۴۸۷۳۲/۹ | -۵/۱۷ | ۱۰۷/۴۱ |
| G4 | ۲۶۱۲/۱ | ۹۹۸۱۲/۹ | ۴۰۰۸۳/۲ | -۴/۵۴ | ۱۰۱۶/۶ |
| G5 | ۳۳۷۹/۵ | ۱۳۱۹۵۶ | ۵۷۵۵۲/۷ | ۴/۲۱ | ۱۴۴۲۰/۷ |
| G6 | ۲۶۰۸/۸ | ۸۲۱۷۷۸ | ۴۳۲۴۵۵/۵ | ۱۶/۲۵ | ۱۷۱۵۰/۳ |
| G7 | ۲۷۶۶/۸ | ۲۱۴۸۰۸ | ۱۰۲۵۸۰ | ۹/۳۳ | ۷۷۲/۵ |
| G8 | ۲۴۳۰/۴ | ۱۷۳۶۶۱ | ۸۰۲۱۷/۹ | ۲/۹۶ | ۲۳۱۴۵/۳ |
| G9 | ۱۷۸۸/۲ | ۱۲۶۵۶۹۵ | ۶۷۳۷۱۴/۶ | ۲۱/۴۸ | ۲۱/۵ |
| G10 | ۲۴۵۳/۶ | ۵۳۴۲۶۷/۷ | ۲۷۶۱۹۹/۹ | ۱۴/۲۹ | ۲۰۹/۹ |
| G11 | ۲۷۲۶/۶ | ۵۸۸۵۷۵ | ۳۰۵۷۱۴/۸ | ۵/۵۸ | ۷۵۰۲۶/۵ |
| G12 | ۲۴۸۷/۱ | ۱۰۱۵۵۴/۳ | ۴۱۰۲۹/۶ | ۶/۳۸ | ۲۰۵۸/۶ |
| G13 | ۱۸۷۷/۳ | ۶۰۷۳۶۰/۷ | ۳۱۵۹۲۴/۴ | ۱۴/۶۷ | ۶۲۴۶/۴ |
| G14 | ۲۴۳۷/۱ | ۱۶۲۵۱۰/۵ | ۷۴۱۵۷/۹ | ۱/۲۴ | ۲۳۱۹۰/۹ |
| G15 | ۳۱۷۱/۳ | ۱۸۳۷۴۷۴ | ۹۸۴۴۶۴ | -۲۳/۶۸ | ۲۲/۵ |
| G16 | ۳۰۶۵/۵ | ۳۹۷۹۶۱/۶ | ۲۰۲۱۲۰ | -۱۰/۴۴ | ۴۷۶/۸ |
| G17 | ۲۶۴۹/۵ | ۳۰۸۰/۸ | -۱۲۴۸۸ | -/۱۱ | ۹۹/۷ |
| G18 | ۳۴۲۱/۰ | ۲۷۳۹۷۶/۹ | ۱۳۴۷۳۷ | -۸/۵۳ | ۶/۹ |
| G19 | ۲۹۰۶/۳ | ۴۸۸۷۰/۶ | ۱۲۳۹۷/۲ | ۴/۹۵ | ۲۶۷/۰ |
| G20 | ۲۸۳۹/۱ | ۳۵۱۷۷۹/۱ | ۱۷۷۰۲۱/۳ | ۱۱/۶۲ | ۱۶۳۹/۹ |
| G21 | ۲۵۶۴/۹ | ۶۵۸۵۸۱/۴ | ۳۵۹۵۲۲/۶ | ۸/۳۵ | ۷۴۹۷۰/۰ |
| G22 | ۲۷۰۳/۶ | ۱۱۰۳۸۱۸ | ۵۸۵۷۳۸/۲ | -۱۵/۲۶ | ۴۳۸۰۹/۹ |
| G23 | ۲۹۸۳/۵ | ۲۹۸۸۶۳ | ۱۴۳۳۷۱/۲ | -۸/۸ | ۶۴/۸ |
| G24 | ۲۲۲۹/۷ | ۲۳۳۹۸۸/۷ | ۱۰۷۵۷۰ | ۷/۸۱ | ۱۲۰۴۴/۵ |
| G25 | ۲۸۷۳/۳ | ۱۷۱۰۰۱/۴ | ۷۸۷۷۲/۵ | -۵/۱۸ | ۷۹۴۹/۲ |
| حداکثر Max | ۳۴۲۱ | ۳۷۴۵۳۴۷ | ۲۰۲۱۲۹۸ | ۲۱/۴۸ | ۱۹۷۴۴۳/۱ |
| حداقل Min | ۱۷۸۸/۲ | ۳۰۸۰/۸ | -۱۲۴۸۸/۶ | -۳۳/۶۳ | ۶/۹۲ |

بیشتری دارند. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط AEC فاصله بیشتری داشته باشند در برهمکنش نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر این اساس ژنوتیپ‌های G22، G17 و G23 جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. همچنین ژنوتیپ‌های G18، G16 و امیر جزء ژنوتیپ‌هایی با پایداری متوسط محسوب می‌شوند.

ژنوتیپ‌های G1، G21، G2 و G6 ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. خط عمود بر این خط ژنوتیپ‌ها را به دو گروه تقسیم می‌کند، گروه اول (سمت راست) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین متوسط هستند و گروه دوم (سمت چپ) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد پایین‌تر از میانگین متوسط هستند. بنابراین ژنوتیپ G18 پایدارترین ژنوتیپ با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین انتخاب شد. بیلی و همکاران (۵) نیز در بررسی‌های خود با به‌کارگیری نمودار GGE بای‌پلات ژنوتیپ کنج‌د-1 Humera را به عنوان ژنوتیپ با عملکرد بالاتر از میانگین و پایدار معرفی کردند.

هر چند که نتایج پارامترهای آماری با نتایج بای‌پلات تطابق صد در صدی نداشت و در بعضی موارد نتایج این دو قسمت عکس یکدیگر بودند. این مطلب توسط سایر محققین نیز اشاره شده است (۱۵ و ۶). عدم تفکیک اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در GGE بای‌پلات، دلیل

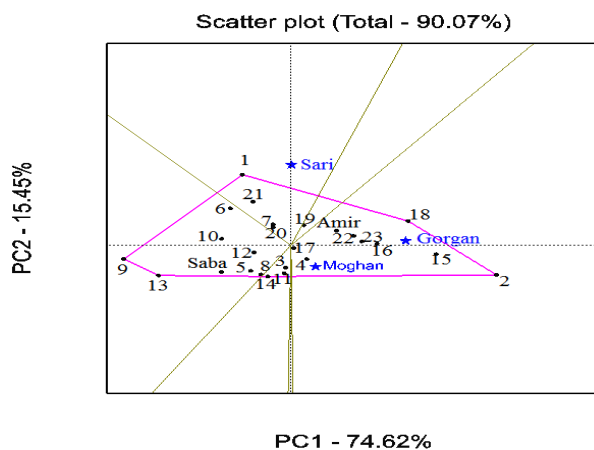
ژنوتیپ ایده‌آل بایستی از بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی برخوردار باشد (۱۹). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است. اگرچه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد اما می‌تواند به صورت یک رفرنس برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپی ایده‌آل است که به این رفرنس نزدیک‌تر باشد. بنابراین برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکز در بای‌پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۲).

ارزیابی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری یکی از جنبه‌های مهم مدل GGE بای‌پلات است. شکل ۳ رتبه‌بندی ۲۵ ژنوتیپ بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. خط دارای علامت فلش که از مرکز بای‌پلات و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب دو مولفه اول برهمکنش در مدل GGE بای‌پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (AEC) نامیده می‌شود (۲۴). ژنوتیپ‌هایی که به خط متوسط عملکرد محیطی نزدیک‌تر باشند دارای پایداری عملکرد

نتیجه گیری کلی

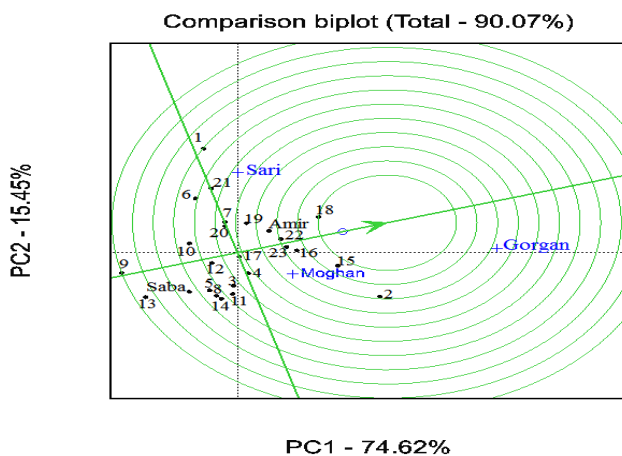
نتایج نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا به میزان زیادی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی قرار گرفتند و رفتار ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت بود. در روش انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس پارامترهای پایداری، ژنوتیپ G18 انتخاب گردید. ژنوتیپ‌های G16 و G23 نیز به ترتیب در رتبه بعدی قرار داشتند. به منظور تبیین بهتر الگوی اثرات متقابل ژنوتیپ با محیط از تجزیه GGE بای پلات استفاده گردید و دو مولفه اصلی اول تقریباً ۹۰ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج تجزیه GGE بای پلات مشخص کرد که ژنوتیپ G18 (Sari × Charleston) پایدارترین ژنوتیپ با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین (۳۴۲۱ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که این نتیجه دقیقاً در پارامترهای پایداری نیز مورد تایید قرار گرفت.

اصلی این عدم تطابق می‌باشد. بابایی و همکاران (۴) سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۹ لاین امیدبخش سویا به همراه رقم شاهد ویلیامز را با استفاده از تجزیه GGE بای پلات در چهار منطقه کرج، گرگان، مغان و خرم‌آباد مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که لاین L85-3059 با ۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار و لاین L12 (Chaleston × Mostang) با ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و پایداری بودند. همچنین گرگان را به عنوان مطلوب‌ترین محیط از نظر قدرت تمایز بین ژنوتیپ‌های سویا و بهترین نماینده منطقه هدف معرفی کردند. کوجا تورک و همکاران (۱۵) سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۴ ژنوتیپ سویا را در چهار منطقه ترکیه طی سه سال زراعی با استفاده از تجزیه GGE بای پلات مورد بررسی قرار داده و ژنوتیپ BAEM317 را از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی مطلوب مانند ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف و طول دوره رسیدگی به عنوان ژنوتیپ پایدار انتخاب کردند.



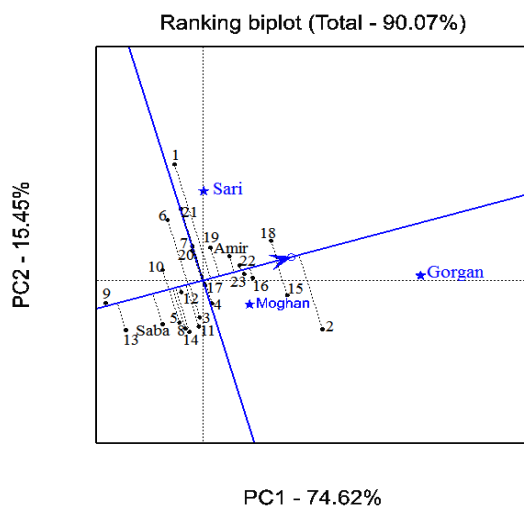
شکل ۱- نمای چند ضلعی GGE بای پلات بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا در ۳ محیط ساری، گرگان و مغان. ۹۰ درصد از واریانس G+GE توسط مولفه‌های (PC1 (۷۴/۶۲ درصد) و PC2 (۱۵/۴۵ درصد) توجیه شد

Figure 1. GGE Biplot polygon based on the performance of soybean genotypes in 3 environments of Sari, Gorgan and Moghan, 90% of GGE variance was explained by PC1 (74.62%) and PC2 (15.45%) components



شکل ۲- نمودار GGE بای پلات بر اساس مقیاس بندی متمرکز شده روی ژنوتیپ‌ها برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده آل در ۳ محیط ساری، گرگان و مغان

Figure 2. GGE-biplot based on genotype-focused scaling for comparison of genotypes with the ideal genotype in 3 environments of Sari, Gorgan and Moghan



شکل ۳- نمای خط متوسط عملکرد محیطی بر اساس مقیاس بندی متمرکز شده روی محیط‌ها برای میانگین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های سویا در ۳ محیط ساری، گرگان و مغان

Figure 3. Average environment coordination (AEC) views of the GGE-biplot based on environment-focused scaling for the means performance and stability of soybean genotypes in 3 environments of Sari, Gorgan and Moghan

منابع

1. Anda, A., B. Simon, G. Soos, J.A. Teixeira da Silva, Z. Farkas and L. Menyhar. 2020. Assessment of soybean evapotranspiration and controlled water stress using traditional and converted evapotranspirometers. Atmosphere, doi: 10.3390/atmos11080830.
2. Arega, A., A. Dabessa, M. Tola and C. Dabala. 2018. Genotype and genotype by environment interaction and grain yield stability of medium maturity groups of soybean [*Glycine max (L.) Merrill*] varieties in western Oromia, Ethiopia. African Journal of Plant Science, 12(9): 227-237.
3. Babaei, H.R., N. Razmi, E. Hazarjaribi and M. Hashemijazi. 2020. Study on Adaptability and Grain Yield Stability of Soybean Genotypes [*Glycine Max (L.) Merrill*] Through AMMI & GGE Biplot Analysis. Journal of Crop Breeding, 12(35): 238-250 (In Persian).
4. Babaei, H.R., N. Razmi, S. Raeisi, and H. Sabzi. 2020. Evaluation of adaptability and seed yield stability of soybean (*Glycine max L. Merrill*) promising lines using GGE biplot analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 22(2): 183-197 (In Persian).
5. Belay, F., H. Meresa and A. Gebreslasie. 2018. Evaluation of the performance of some white seeded sesame (*Sesamum Indicum L.*) genotypes using GGE biplot analysis in Northern Ethiopia. Journal of Cereals and Oilseeds, 9(1): 1-9.
6. Carneiro, A.K., A. Teodoro Bruzi, J.de Andrade Rezende Pereira and E. Vinicius Zambiazzi. 2019. Stability analysis of pure lines and a multiline of soybean in different locations. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 19(4): 395-401.
7. Dadras, A.R., H. Samizadeh and H. Sabouri. 2017. Evaluation of soybean varieties and advanced lines yield under drought stress conditions using GGE biplot analysis. Journal of Crop Breeding, 9(23): 18-26 (In Persian).
8. Deresse, D., M. Malede, A. Amogne and G. Tefera. 2019. Genotype by environment interaction and yield stability studies on medium maturing soybean genotypes tested in northwest, southern and western parts of Ethiopia for two consecutive years (2016-2017) across five testing locations. Acta Scientific Agriculture, 3(9): 104-112.
9. Erdemci, I. 2018. Investigation of genotype \times environment interaction in chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. Turkish Journal of Field Crop, 23(1): 20-26.
10. Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14(6): 742-754.
11. Freiria G.H., L.S. Gonçalves, F.F. Furlan, N.D.S. Junior, W.F. Lima and C.E.C. Prete. 2018. Statistical methods to study adaptability and stability in breeding lines of food-type soybeans. Bragantia, 77(2): 253-264.
12. Ghanbari, S., A. Nooshkam, B.A. Fakhari and N. Mahdinezhad. 2019. Relationship between yield and its Component in soybean genotypes (*Glycine Max L.*) using multivariate statistical methods. Journal of Crop Breeding, 11(1): 85-92 (In Persian).
13. Jorge, G.L., A.P.O. Nogueira, O.T. Hamawaki, B.Q.V. Machado, A.J.O. Santana, B.A.M. Borges, R.L. Hamawaki and C.D.L. Hamawaki. 2019. Line selection and correlation between traits of soybean genotypes under high naturally occurring stink bug infestation. Genetics and Molecular Research, 18 (1): gmr18182.

14. Karimizadeh, R., A. Asghari, R. Chinipardaz, O. Sofalian and A. Ghaffari. 2016. Application of GGE biplot analysis to evaluate grain yield stability of rainfed spring durum wheat genotypes and test locations by climatic factors in Iran. *Crop Breeding Journal*, 6(2): 41-49.
15. Kocaturk, M., P. Cubuku, A.T. Goksoy, M. Sincik, E. Ilke, A. Kadiroglu, Y. Vurarak and M. Sahin. 2019. GGE biplot analysis of genotype \times environment interaction in soybean grown as a second crop. *Turkish Journal of Field Crops*, 24(2): 145-154.
16. Li, M., Y. Liu, Ch. Wang, X. Yang, D. Li and X. Zhang. 2020. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*, Doi: org/10.3389/fpls.2019.01642.
17. Morsy, A.R., W.M. Fares, S.B. Ragheb, and M.A. Ibrahim. 2015. Stability analysis of some soybean genotypes using a simplified statistical model. *Journal Plant Production*, 6(12): 1975-1990.
18. Mwiinga, B., J. Sibiya, A. Kondwakwenda, C. Musvosvi and G. Chigeza, 2018. Genotype \times environment interaction analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grain yield across production environments in Southern Africa. *Field Crops Research*, doi:org/10.1016/j.fcr.2020.107922.
19. Razmi, N., V. Rameeh, E. Hezarjeribi and A. Kalantar Ahmad. 2021. Investigation of Grain Yield, Number of Pods and Plant Height of New Soybean Lines in Sari, Gorgan, Moghan and Dezful Regions. *Journal of Crop Breeding*. 12(36): 21-29 (In Persian).
20. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29(2): 237-245.
21. Wricke, G. 1962. Über eine methode zur refassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Flanzzuecht*, 47: 92-96.
22. Wu, Y., J. Sun, G. Cao, L. Han, Y.P., Zhao, X., Q. Wang. 2015. Protein content stability analysis in soybean through GGE Biplot. *Soybean Science*, 34: 172-174. Doi: 10.18805/lr.v0i084.
23. Yamaguchi, N., Y. Tsuji, H. Suzuki, T. Kitabatake and T. Yoshihira. 2019. Evaluation of high-yielding Canadian soybean cultivars suited to Japanese growing conditions. *Agrosystems, Geosciences and Environment*. Doi:10.2134/age2018.12.0061.
24. Yan, W. and J. Frégeau-Reid. 2018. Genotype by yield \times trait (GYT) biplot: a Novel Approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, Doi: 10.1038/s41598-018-266.
25. Yahaya, S.U. and E. Ankrumah. 2017. Character association and path coefficient analysis for yield components and grain yield in soybean [*Glycine max* (L) Merrill.]. *Legume Research*, 40: 630-634. doi: 10.1002/9781118688571.

Yield Evaluation of Soybean Genotypes across Diverse Environments by Statistical Parameters and GGE biplot

Nasrin Razmi¹, Bahram Masuodi², Ebrahim hezarjaribi³, Seyed Abbas Andarkhor⁴,
Abolfazl Faraji⁵ and Shahriyar Kia⁶

1- Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Parsabad, Iran, (Corresponding Author: n.razmi@areeo.ac.ir)

2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

4- Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department. Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

5- Scientific Member, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

6- Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

Received: 17 July, 2021 Accepted: 23 August, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: The compatibility of soybean genotypes in different climates depends on environmental factors, especially the photoperiod. Genotype and genotype by environment ($G \times E$) interaction refers to the difference in the response of genotypes to different environment. Assessing the interaction of genotype \times environment improve breeding efficiency programs for wide adaptation and for high seed yield stability.

Materials and Methods: 23 soybean genotypes with two checks (Saba and Amir) were evaluated in a completely randomized block design with three replications in three regions (Gorgan, Sari and Moghan) during 2018-2019. Analysis of variance of seed yield was performed separately for each region and combined analysis for all regions. Univariate linear regression, deviation of regression coefficient, Shukla's stability variance and Wricke's ecovalence were used to evaluate the seed yield stability of these genotypes. GGE biplot analysis was used to understand the interaction between genotype and the environment.

Results: The partitioning of (environment + genotype \times environment) mean squares showed that environments differed significantly and were quite diverse with regards to their effects on the performance of genotypes. Genotype \times environment interaction was also analyzed by GGE biplot. Based on stability parameters and GGE biplot analysis, G18 had higher seed yield, lower Wricke's ecovalence and Shukla's stability variance values. Also, the regression coefficient was equal to one and deviation from regression was minimal in G18. Genotypes G16 and G23 were subsequent stable and high yielding. These results were also confirmed by GGE biplot analysis. The simultaneous studying of the effects of genotype and genotype \times environment interactions by average tester coordinate (AEC) view of biplot illustrated that G22, G23, G17 are more stable to the tested environments than the other genotypes. G18 and G16 and Amir cultivar are considered as moderate stability. The vector view of GGE biplot indicated Environments were separated into two group groups and genotypes into three groups. G2, G15 and G18 genotypes had the highest seed yield in the first environmental group (Moghan and Gorgan) and G1 genotype had the highest seed yield in Sari region. G9, G13, G10, and G8 genotypes had the lowest average yield in all environments

Conclusion: Genotype G18 (Charleston \times Sari) with 3421 Kg.ha⁻¹ seed yield was desirable and stable across the environments and could be suggested in future breeding programs.

Keywords: Genotype-environment interaction, Stability parameters, Stable genotypes