

Stability evaluation of advanced soybean lines (*Glycine max* L.) in drought conditions using GGE-Biplot analysis and Ammi

Jahanfar Daneshian^{1*}, Mehrzad Ahmadi², SeyedAhmad KalantarAhmadi³

¹ Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: J.daneshian@areeo.ac.ir

² Assistant professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: ahmadimehrzad@yahoo.com

³ Assistant Professor, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran, Email: a.kalantarAhmadi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/04/10
Revised: 2022/07/26
Accepted: 2022/07/28

Keywords:

Dehydration stress
Seed yield
Advanced soybean line
Stability and adaptability

ABSTRACT

Background and objectives: Soybean (*Glycine max* L.) is the most important oil crop in the world. Soybean yield and its geographical distribution in the country can be severely limited by abiotic stress such as drought. There is a constant need to improve soybean cultivars with stable yields in different environments. In this study, the stability and adaptability of advanced soybean lines under water stress conditions have been investigated.

Materials and methods: In this study, 14 advance soybean lines that were superior in preliminary soybean yield evaluation experiments in different regions along with two cultivars, Saba and Kowsar, in two separate experiments evaluated in a randomized complete block design with three replications in the two years of 2015-2016 in Karaj. Both experiments were similarly irrigated until seedling establishment and the emergence of the V4-V5 stage, which coincided with the complete development of the fourth to fifth of three-leaf. After that, the first experiment was irrigated weekly and the second one every other week (50-55 and 100-120 mm evaporation from Class A evaporation pan, respectively). At the end of two years, the stability and adaptability of the lines were evaluated by GGE biplot, AMMI, and the rank of the mean yield.

Results: The results showed that the effects of genotype, environment and genotype \times environment explained 20, 68, and 12% of the total squares, respectively. Also, the first two main components were significant and each of them accounted for 67 and 24% of the total squares, respectively. The results of this study showed that the highest seed yield in non-stress conditions was observed in G1, G3 and G2 lines, respectively. Also in drought stress conditions, the highest seed yield was obtained from G3 and G2 lines. The G3 line was known as a drought tolerant genotype with higher than total average yield in both non-stress and stress conditions.

Conclusion: According to the mean rank and standard deviation of seed yield rank of lines biplot diagram, G3, G1, G2, G7 had the least

interaction with the environment and were identified as stable lines. in the first two main components biplot diagram, and the AMMI stability value (ASV) with the lines seed yield biplot diagram, G2, G6, G3, G1, G7 were recognized as more stable lines. Based on the GGE polygon diagram, lines G1, G6, G2, G7, G4, and G5 were also selected. Also, G3, and G8 lines showed good private adaptability with Karaj in stress-non stress conditions. The results showed that line G3, G1, G2 with higher seed yield than the total mean and control cultivars can be introduced as a suitable line for cultivation in low water areas and they can also be used in future breeding programs.

Cite this article: Daneshian, J., Ahmadi, M., Kalantarahmadi, S.A. 2022. Stability evaluation of advanced soybean lines (*Glycine max* L.) in drought conditions using GGE-Biplot analysis and Ammi. *Crop Production Journal*, 15 (4), 119-138.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20016.2492

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



ارزیابی پایداری لاین‌های پیشرفته سویا (*Glycine max L.*) در شرایط

تنش خشکی با استفاده از روش GGE بای پلات و Ammi

جهانفر دانشیان^{۱*}، مهرزاد احمدی^۲، احمد کلاتر احمدی^۳

^۱ استاد، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران، رایانامه: J.daneshian@areeo.ac.ir
^۲ استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران، رایانامه: yahoo.com@ahmadimehrzad
^۳ استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صغی آباد دزفول، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO) دزفول، ایران، رایانامه: a.kalantarahmadi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: سویا (<i>Glycine max L.</i>) مهم‌ترین گیاه روغنی در جهان است. عملکرد سویا و توزیع جغرافیایی آن در کشور می‌تواند به شدت توسط تنش‌های غیرزیستی هم‌چون خشک‌سالی محدود شود. از این‌رو، نیاز دایمی به اصلاح ارقام سویا با عملکرد بالا و پایدار در محیط‌های مختلف وجود دارد. در این تحقیق به بررسی پایداری و سازگاری لاین‌های پیشرفته سویا در شرایط تنش کم آبی پرداخته شده است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۶	مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۴ لاین برتر سویا که در آزمایشات مقدماتی ارزیابی عملکرد سویا در مناطق مختلف برتر بوده‌اند، به همراه دو رقم صبا و کوثر در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۵ - ۱۳۹۴ در کرج ارزیابی شدند. هر دو آزمایش تا زمان استقرار گیاهچه و ظهور مرحله V4-V5 که مصادف با توسعه کامل چهارمین تا پنجمین برگ سه برگچه‌ای بود، مشابه یکدیگر آبیاری گردیده و پس از آن، در آزمایش‌های اول و دوم به ترتیب هر هفته و یک هفته در میان (به ترتیب ۵۵-۵۰ و ۱۲۰-۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) آبیاری شدند. در پایان دو سال، پایداری و سازگاری لاین‌ها، با روش GGE بای پلات، AMMI و میانگین رتبه میانگین عملکرد بررسی شد.
واژه‌های کلیدی: پایداری و سازگاری تنش کم آب عملکرد دانه لاین پیشرفته سویا	یافته‌ها: نتایج نشان داد اثرات ژنوتیپ، محیط و ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۲۰، ۶۸ و ۱۲ درصد از کل مجموع مربعات را توجیه نمودند. همچنین، دو مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بودند و هرکدام به ترتیب ۶۷ و ۲۴ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ترتیب در لاین‌های G1، G3 و G2 مشاهده شد. همچنین، در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین عملکرد در لاین‌های G3 و G2 به‌دست آمد. لاین G3 با داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، به عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نمودار بای پلات، رتبه‌بندی میانگین و انحراف معیار رتبه عملکرد دانه لاین‌های G1، G2، G3 و G7 کم‌ترین اثر متقابل را با محیط داشته و به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند. در نمودار بای پلات دو مولفه اصلی اول و آماره ارزش پایداری مدل AMMI با عملکرد، لاین‌های G2، G6، G3، G1 و G7 به عنوان لاین‌هایی با پایداری بیش‌تر شناخته شدند. براساس نمودار چندضلعی GGE، نیز لاین‌های G1، G6، G2، G7، G4 و G5 انتخاب شدند. لاین‌های G3 و G8 در کرج در شرایط بدون تنش و تنش، سازگاری خصوصی خوبی را نشان دادند. لاین‌های G1، G3 و G2 با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل و ارقام شاهد به عنوان لاین‌های مناسب جهت کشت در مناطق کم آب معرفی می‌گردند و همچنین، می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی آبی استفاده نمود.

استناد: دانشیان، ج.، احمدی، م.، کلانتر احمدی، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری لاین‌های پیشرفته سویا (*Glycine max L.*) در شرایط تنش خشکی با استفاده از روش GGE بای پلات و Ammi. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۵ (۴)، ۱۱۹-۱۳۸.

DOI:



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سویا (*Glycine max L.*) از ارزش غذایی و صنعتی بالایی برخوردار است. این محصول دارای بالاترین میزان پروتئین (۴۰ درصد) در بین محصولات زراعی است و در بین حبوبات زراعی از نظر محتوای روغن دومین رتبه بعد از بادام زمینی (۲۰ درصد) را دارد. سویا حدود یک چهارم روغن خوراکی و دو سوم از کنجاله پروتئینی جهان را تامین می‌کند. پروتئین سویا دارای تعادل عالی اسیدهای آمینه در مقایسه با سایر پروتئین‌های گیاهی است. این گیاه نسبت به فتوپریود، دما و ارتفاع بسیار حساس است. ارقام اصلاحی که حساسیت کم‌تری نسبت به فتوپریود و تغییرات دما دارند، برای سازگاری با مناطق کشت مختلف و گسترش سطح زیر کشت آن، حایز اهمیت هستند. بنابراین، نیاز دایمی به توسعه واریته‌های اصلاحی سویا با پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف وجود دارد (۱).

عملکرد و توزیع جغرافیایی محصول سویا می‌تواند به شدت توسط عوامل محدود کننده زنده و غیرزیستی کاهش یابد (۱). در میان تنش‌های غیرزیستی، خشک‌سالی یکی از عوامل اصلی کمبود محصول در جهان بوده که منجر به کاهش شدید عملکرد و کیفیت دانه شده است (۲، ۳، ۴). کمبود آب بر صفات فیزیولوژیکی و زراعی گیاه سویا تأثیر منفی داشته و در نتیجه باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (۵). اثرات کمبود آب بر عملکرد دانه سویا به شدت، مدت زمان و دوره وقوع آن بستگی دارد. هنگامی که خشک‌سالی در اولین مرحله رشد رویشی رخ می‌دهد، گیاه سویا ظرفیت بازیابی بیش‌تری داشته و ممکن است دوره‌های کوتاه کمبود آب را تحمل کند. با این حال، حساسیت به تنش با رشد گیاه افزایش و بیش‌ترین مقدار در مرحله گلدهی مشاهده شده است (۶، ۷، ۸). با توجه به پیچیدگی واکنش

گیاهان به کمبود آب، جستجو برای ارقام مقاوم به خشکی کار سختی بوده است، به طوری که فنوتیپ و شناسایی صفات کمک کننده به انتخاب بهترین ژنوتیپ در شرایط کم آبی، چالش اصلی در این فرآیند است (۸).

عملکرد دانه صفتی کمی و پیچیده است که توسط شمار زیادی از ژن‌ها کنترل و به وسیله برهم‌کنش‌های متعدد بین ژن‌ها و محیط تعیین می‌شود (۹). سویا در سراسر جهان در طیف وسیعی از عرض‌های جغرافیایی (۵۰ درجه شمالی تا ۳۵ درجه جنوبی) کشت می‌شود (۱۰). بنابراین، شناسایی پایدارترین ارقام سویا، که بهترین عملکرد را در عرض‌های جغرافیایی مختلف تولید کنند، اهمیت فراوان دارد. اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط ($G \times E$) یک مشکل اساسی در مطالعه صفات کمی مانند عملکرد است، زیرا تفسیر آزمایشات و پیش‌بینی‌ها آن را پیچیده می‌کند (۱۱). برخی از روش‌های مختلفی که در انجام آنالیز^۱ GEI مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به تجزیه و تحلیل پایداری با استفاده از اثرات اصلی افزایشی و مدل اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI)، تحلیل واریانس (ANOVA) و تجزیه و تحلیل GGE بای پلات، اشاره نمود (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵). از بین روش‌های فوق، روش ANOVA تنها اثرات اصلی را توضیح داده و اطلاعات دیگری در مورد ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها به صورت انفرادی که اجزای برهم‌کنش هستند، ارائه نمی‌دهد (۱۵). تجزیه و تحلیل AMMI اجزای افزودنی را در یک مدل واحد برای اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و همچنین اجزای ضرب‌پذیر اثر متقابل ترکیب می‌کند و از ANOVA و PCA استفاده می‌کند. آنالیزهای گرافیکی مدل AMMI اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط و

1 . Genotype \times Environment Interaction

واریانس کل را به خود اختصاص داده و با رسم نمودار بای پلات مربوطه، ژنوتیپ‌های مناسب هر منطقه شناسایی گردید (۲۰). در بررسی دیگری که بر روی ۱۰ لاین F8 امیدبخش سویا به همراه سه رقم شاهد در هشت محیط مختلف طی چهار سال (۲۰۱۶-۲۰۱۹) انجام شد. نتایج اندازه‌گیری نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر ژنوتیپ (۸/۳۵ درصد)، محیط (۵۹/۵ درصد) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط GEI (۳۲/۱۶ درصد) قرار گرفت و چهار لاین دارای عملکرد و پایداری بالا در هشت محیط بودند (۲۱).

ادوگبو و همکاران (۲۰۱۵) عملکرد چهار ژنوتیپ سویا را در شش تاریخ کاشت طی دو سال با استفاده از مدل AMMI و GGE بای پلات ارزیابی کرده و این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در محیط‌های مختلف معرفی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های AMMI و GGE بای پلات امکان مقایسه بصری و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای هر یک از محیط‌های مورد بررسی را تسهیل می‌کند (۲۲). در بررسی دیگری که با استفاده از روش GGE بای پلات برای ارزیابی ۱۲۱ رقم و لاین پیشرفته سویا در شرایط نرمال و تنش خشکی در دو مکان رشت و گنبد صورت گرفت، مشخص گردید که مؤلفه اول ۶۶ و مؤلفه دوم ۲۲ درصد (در مجموع ۸۸ درصد) از کل تغییرات را توجیه نمودند. نتایج نشان داد که دو ژنوتیپ در هر دو مکان تحت شرایط تنش مناسب بودند (۲۳).

در تحقیق حاضر ۱۴ لاین پیشرفته سویا حاصل از برنامه‌های به‌نژادی این گیاه در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به همراه دو رقم تجاری با استفاده از روش AMMI و GGE بای پلات با هدف معرفی لاین امید بخش پر محصول سویا با پایداری مناسب در شرایط کم آبی، مورد ارزیابی قرار گرفت.

برهم‌کنش‌های آن‌ها را نشان داده، پاسخ‌های ژنوتیپ را تخمین می‌زند و نویز را از منابع واقعی تغییرات از طریق تقسیم‌بندی GEI جدا می‌کند. در روش امی به دلیل عدم استفاده از تمام مؤلفه‌ها، نویز که باقیمانده حاصل از اثر متقابل است وجود دارد (۱۶). روش امی همچنین به بهبود ارزیابی ژنوتیپ و انتخاب محیط آزمایش کمک می‌کند (۱۲). این روش همچنین در خلاصه کردن و الگوهای تقریبی پاسخ که در داده‌های اصلی وجود دارد مفید است (۱۳). با توجه به این که محیط مجموعه‌ای از عوامل متغییر است، برخی از پژوهش‌گران اعتقاد دارند که این روش می‌تواند برای تفسیر علت واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و از آن برای پیش‌برد برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود (۱۶). از این میان، روش GGE biplot به صورت بصری روابط بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌های آزمایشی و برهم‌کنش‌های ژنوتیپ × محیط، را بررسی کرده و روشی مؤثر برای توصیه ژنوتیپ‌های ویژه در مگا محیط‌های خاص، ارزیابی میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها و تجزیه و تحلیل تاثیر محیط‌های هدف برای تشخیص ژنوتیپ‌های برتر به کار می‌رود (۱۷)، (۱۸).

مطالعات متعددی بر روی پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های سویا صورت گرفته است. بابایی و همکاران (۲۰۱۸)، پایداری ۱۹ لاین خالص سویا به همراه رقم تجاری کوثر را در سه منطقه کرج، خرم آباد و مغان طی دو سال مورد ارزیابی قرار داده و سه لاین را بر اساس معیار ASV، به عنوان ژنوتیپ پایدار شناسایی کردند (۱۹). همچنین، در تحقیقی که با هدف گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد و پایداری بالا در ۱۹ لاین سویا به همراه رقم شاهد ویلیامز در چهار منطقه طی دو سال انجام شد، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴۲ درصد از

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ۱۴ لاین برتر سویا که در آزمایشات مقدماتی ارزیابی عملکرد سویا در مناطق مختلف برتر بوده‌اند، به همراه دو رقم صبا و کوثر (جدول ۱) در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به طول جغرافیایی ۵۰/۹۳ شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵/۷۹ شرقی با ارتفاع ۱۲۳۱ متر از سطح دریا ارزیابی شدند. کرج دارای آب و هوای گرم و خشک در طول ماه‌های کشت سویا می‌باشد. وضعیت تغییرات دمای هوا براساس میانگین ماهانه در طی ماه‌های سال در جدول ۲ ارائه شده است. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر در نیمه خرداد ماه انجام شد. کودهای شیمیایی شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم

در هکتار، فسفر به میزان ۹۶ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاسیم به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم در زمان تهیه زمین استفاده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز در زمان تهیه زمین به میزان دو لیتر در هکتار ترفلان استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به صورت وجین دستی در دو نوبت صورت گرفت. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط به طول پنج متر بود. فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی خط کشت چهار تا شش سانتی‌متر تنظیم گردید. برای کاشت به وسیله فوکا شیاری به عمق ۵ سانتی‌متر روی خطوط مذکور ایجاد شد. بذرها در داخل شیاری ریخته شدند و روی آن‌ها با خاک پوشانده شد. زمان کاشت به صورت کشت دوم بعد از محصولات پاییزه در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول و دوم به ترتیب ۲۷ و ۲۳ خرداد ماه بود.

جدول ۱- فهرست ارقام و لاین‌های بررسی شده در این تحقیق.

Table 1- List of the studied soybean genotypes in the experiment.

ردیف Num.	منشا یا شجره Origin or family tree	ردیف Num.	منشا یا شجره Origin or family tree
1	L.45 (Columbus x Krasnodar 778)	9	L.39 (Williams x Hamilton)
2	L. 44(Craford x Lan)	10	L.13 (Williams x Katool)
3	L. 3(Williams x Katool)	11	L.8 (Williams x Katool)
4	Saba	12	L. (Hacheston x L.6)
5	L.7 (Williams x Katool)	13	L.13 (RVB x Katool)
6	L.3(Nemaha x Savoy)	14	L. 23 (Williams x Katool)
7	Kowsar	15	L.33 (Williams x Hamilton)
8	L. (Hacheston x L.6)	16	L.21 (Williams x Katool)

هفته در میان (به ترتیب ۵۰ تا ۵۵ و ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس) تا پایان دوره رشد آبیاری بود. در مرحله رسیدن فیزیولوژیک، عملیات برداشت به صورت دستی از مساحت حدود سه متر مربع انجام گرفت و با استفاده از کمباین دانه‌ها جدا شدند. عملکرد به طور جداگانه برای هر یک

آبیاری از زمان کاشت تا مرحله سه تا چهار برگی در سطوح آبیاری، مشابه بود. در این مرحله برای وجین و حذف علف‌های هرز از کولتیواتور استفاده شده و سپس تیمار تنش اعمال گردید. آبیاری کرت‌های آزمایشی در شرایط آبیاری مطلوب به صورت هفتگی و در شرایط تنش به صورت یک

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{ASVi} = \sqrt{\left[\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA_1 \text{score})^2 + (IPCA_2 \text{score})^2 \right]} \quad (24)$$

در این رابطه (۱) SS_{IPCA1} و SS_{IPCA2} به ترتیب مجموع مربعات مولفه‌های اصلی اثر متقابل اول و دوم اثر متقابل برای هر یک از ژنوتیپ‌ها است. در این روش لاین پایدار دارای مقدار عددی کمتر ASV است.

از کرت‌ها ارزیابی شد. در پایان دو سال پس از انجام آزمون بارتلت، تعیین پایداری و سازگاری لاین‌ها، از روش GGE بای‌پلات و AMMI توسط نرم افزار GenStat 12.0 و PBTtools ورژن ۲۰۱۳ استفاده شد. جمع و واریانس رتبه برای هر یک از لاین‌ها و ارزش پایداری امی با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد (رابطه ۱).

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی دو سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در طول دوره رشد سویا در کرج.

Table 2- Meteorological data of two years 2014-2015 and 2015-2016 during soybean growth period in Karaj.

ماه Month	۱۳۹۴			۱۳۹۵		
	۲۰۱۵	۲۰۱۶				
	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Max Temp. (°C)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Min Temp. (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean Temp. (°C)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Mean Max Temp. (°C)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Min Temp. (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean Temp. (°C)
خرداد Jun.	۳۸/۴	۱۱/۰	۲۶/۴	۳۶/۳	۸/۷	۲۳/۸
تیر Jul.	۴۱/۴	۱۴/۱	۲۹/۳	۴۰/۷	۱۴/۹	۲۷/۳
مرداد Aug.	۳۹/۷	۱۶/۹	۲۸/۸	۳۹/۳	۱۶	۲۷/۳
شهریور Sep.	۳۵/۵	۱۳/۱	۲۳/۴	۳۶/۶	۱۱	۲۴/۹
مهر Oct.	۳۲/۷	۴/۱	۱۹/۴	۳۳/۹	۴/۹	۱۸/۶

منبع: ۲۵ و ۲۶.

مطالعات انجام شده بر روی ژنوتیپ‌های سویای سیاه در اندونزی و نیجریه مشخص شد که به ترتیب بیش از ۵۹ و ۴۷ درصد از واریانس کل، توسط محیط ایجاد می‌شود (۲۱، ۲۲).

نتایج به دست آمده حاکی از اختلاف معنی‌دار ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و دو مولفه اثر متقابل برای عملکرد دانه سویا بود. معنی‌دار بودن مولفه‌های اثر متقابل بیان‌گر برآزش خوب مدل امی با داده‌ها بود. مولفه اول و دوم به ترتیب ۶۷ و ۲۴ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. مولفه‌های دیگر (باقی مانده یا نویز) جمعا هشت درصد از مجموع مربعات اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. در مطالعه صورت

نتایج و بحث

نتیجه آزمون بارتلت نشان داد که واریانس اشتباهات آزمایشی در آزمایشات یکنواخت بود ($p \text{ value} = 0.654$). تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه با استفاده از روش امی در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و به ترتیب ۲۰، ۶۸ و ۱۲ درصد از کل مجموع مربعات را توجیه نمودند. در بین عوامل فوق اثر محیط بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داد که بیان‌گر تفاوت محیط‌های مورد بررسی بود که بر روی عملکرد دانه لاین‌ها تاثیر گذاشت. نتایج مطالعات نشان داد که بخش بزرگی از واریانس ایجاد شده توسط محیط توجیه می‌شود. در

لاین پایداری است (۲۴). به منظور شناسایی لاین‌های که هم عملکرد و هم پایداری عملکرد دارند از نمودار دو بعدی میانگین عملکرد دانه و ارزش پایداری امی استفاده شد. بر اساس شکل ۱ لاین‌های G1، G2، G3، G6 و G7 دارای مقادیر کم‌تر مولفه اول و میانگین عملکرد بیش‌تر از میانگین کل بودند و بنابراین، به عنوان لاین‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند. همچنین، لاین G1 عملکرد بالاتر از عملکرد متوسط و ارقام شاهد داشت. فرشادفر و همکاران (۲۰۱۱) از شاخص ASV استفاده کرده و توانستند ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا را در گندم نان معرفی کنند (۲۸). بابایی و همکاران (۲۰۲۰)، پایداری ۱۹ لاین خالص سویا به همراه رقم تجاری کوثر کشت شده در سه منطقه کرج، خرم‌آباد و مغان طی دو سال مورد ارزیابی قرار دادند و سه لاین را بر اساس معیار ASV، به عنوان ژنوتیپ پایدار شناسایی کردند (۲۰).

گرفته بر روی ۱۳۷ ژنوتیپ سویا در ژاپن، سه مولفه اول ۶۰ تا ۷۰ درصد از مجموع مربعات را شامل شدند (۲۷). همچنین، در تحقیقی که با هدف گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد و پایداری بالا در ۱۹ لاین سویا به همراه رقم شاهد ویلامز در چهار منطقه طی دو سال انجام شد. واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴۲ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند و با رسم نمودار بای پلات مربوطه، ژنوتیپ‌های مناسب هر منطقه را شناسایی کردند (۱۹). اولین مولفه اثر متقابل، بالاترین سهم را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشت و مولفه‌های دیگر در رتبه بعدی اهمیت قرار داشتند؛ لذا ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالای مولفه اول بودند دارای اثر متقابل بالایی با محیط بودند و سایر ژنوتیپ‌ها با مقادیر اندک آن، اثر متقابل پایینی داشتند؛ بنابراین برای استفاده هم‌زمان از تمام مولفه‌ها از ارزش پایداری امی (آماره ASV) استفاده شد (جدول ۴). هر چقدر ASV کم‌تر باشد

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل امی برای عملکرد دانه لاین‌های پیشرفته سویا در چهار مکان.

Table 3- Analysis of variance of AMMI model for seed yield of advanced soybean lines in four locations.

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع مربعات (درصد)	میانگین مربعات
S.O.V	df	Sum of squares	Sum of squares (%)	Mean squares
تیمار	63	79778618		1266327 **
Treatment				
ژنوتیپ	15	16188572	20.29	1079238 **
Genotype				
محیط	3	54254172	68.01	18084724 **
Environment				
ژنوتیپ × محیط	45	9335874	11.70	207464 **
Genotype×Environmen				
اولین مولفه اثر متقابل	17	6251310	66.96	367724 **
IPC1				
دومین مولفه اثر متقابل	15	2283731	24.46	152249 **
IPC2				
باقی‌مانده (نویز)	13	800833	8.58	61603 **
Residual (Noise)				
خطای ادغام شده	120	5044693		42039
Pooled error				
کل	191	85226345		
Total				

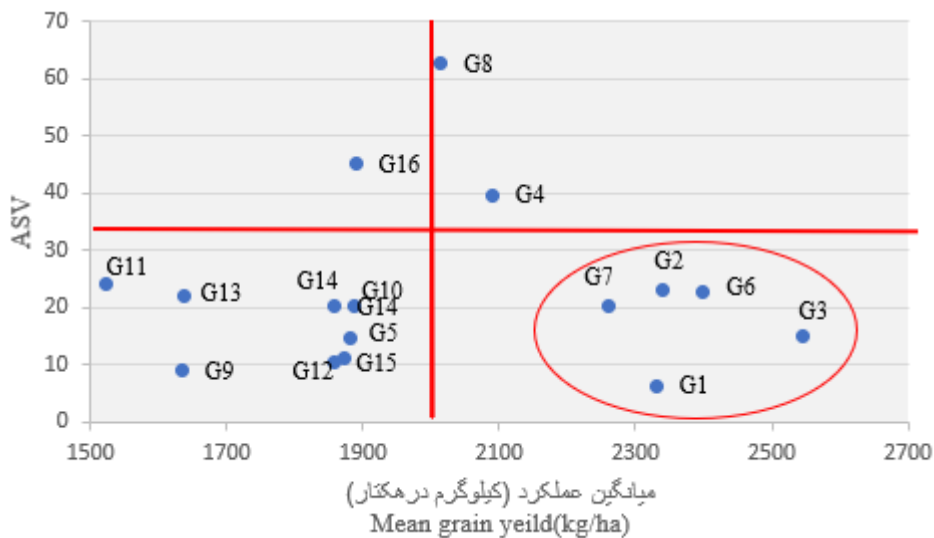
* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

* and ** are Significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

جدول ۴- ارزش پایداری (ASV) روش AMMI و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم لاین‌های سویا.

Table 4- ASV of AMMI method and the values of first and second main components in soybean lines.

شماره ژنوتیپ Genotype number	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Mean grain yield (Kg/ha)	اولین مؤلفه اثر متقابل IPCA1	دومین مؤلفه اثر متقابل IPCA2	ارزش پایداری امی ASV	رتبه‌بندی ASV Ranking of ASV
G1	2330.5	-0.94	5.75	6.30	1
G2	2399.9	8.01	-6.26	22.80	11
G3	2545.1	5.44	-2.93	15.18	6
G4	2090.2	-14.47	0.57	39.61	14
G5	1880.7	-4.83	-6.31	14.64	5
G6	2341.2	-0.03	23.12	23.12	12
G7	2259.9	7.39	2.77	20.42	9
G8	2014.2	-22.86	1.82	62.62	16
G9	1634.0	3.01	-3.48	8.94	2
G10	1887.9	-6.56	-9.54	20.34	8
G11	1521.3	8.80	-2.91	24.25	13
G12	1856.9	-3.70	1.80	10.30	3
G13	1637.7	7.61	-7.33	22.10	10
G14	1857.1	-7.27	-3.72	20.23	7
G15	1872.4	4.02	2.31	11.24	4
G16	1889.2	16.39	4.32	45.07	15
میانگین کل Total average	2001.1				



شکل ۱- بای پلات میانگین عملکرد دانه لاین‌های سویا، محیط‌ها و مقادیر ASV آن‌ها (AMMI1).

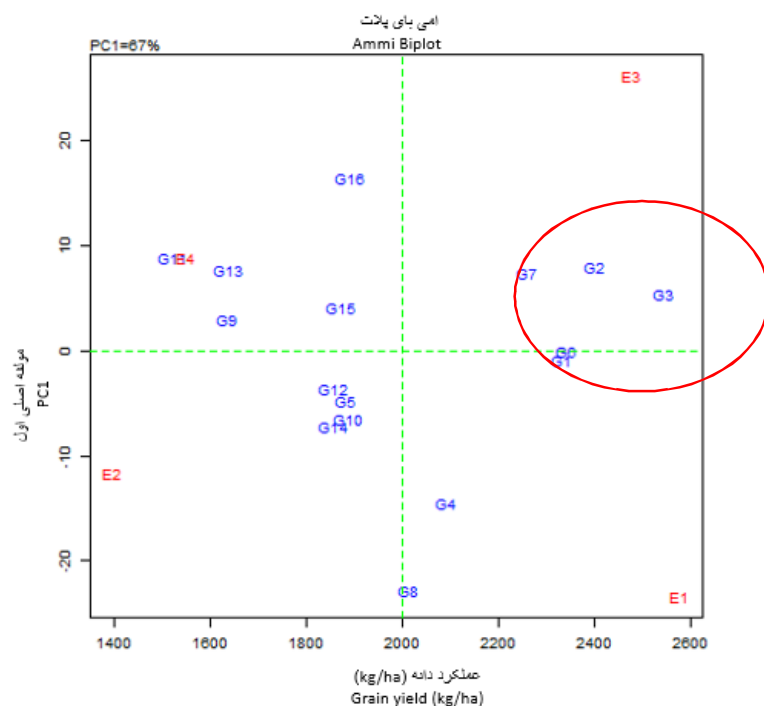
Figure 1- Biplot of mean grain yield of soybean lines, environments and values of their ASV (AMMI1).

دارای مقادیر مولفه اصلی اول کم‌تر بوده و نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط پایین‌تر بوده و پایدارتر خواهد بود (۲۲). بنابراین، لاین‌های G1، G6 و G3 با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل دو سال و مقادیر کم‌تر مولفه اول به عنوان پایدارترین لاین‌ها معرفی می‌شوند. در تحقیقی که بر روی پایداری عملکرد

شکل ۲ به ترتیب موقعیت ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را براساس مولفه اول و عملکرد دانه نمایش می‌دهد. در بای پلات محور افقی نمایان‌گر اصلی جمع‌پذیر (میانگین عملکرد دانه) و محور عمودی اثرات متقابل ضرب‌پذیر (مقادیر مولفه اصلی اول) است. بنابراین، هرچه ژنوتیپ مورد نظر عملکرد بهتری داشته باشد،

میانگین عملکرد نشان داد که دو نمونه ژنتیکی چاودار دارای پایداری عمومی بالا و بیش‌ترین عملکرد علوفه بودند (۲۹).

علوفه ۱۱ نمونه ژنتیکی چاودار وحشی در شرایط نرمال و کم آبی در کرمانشاه طی دو سال انجام شد، نمودار دو پلاتی اولین مولفه اصلی اثر متقابل و



شکل ۲- بای‌پلات میانگین عملکرد دانه لاین‌های سویا، محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها (AMMI1).

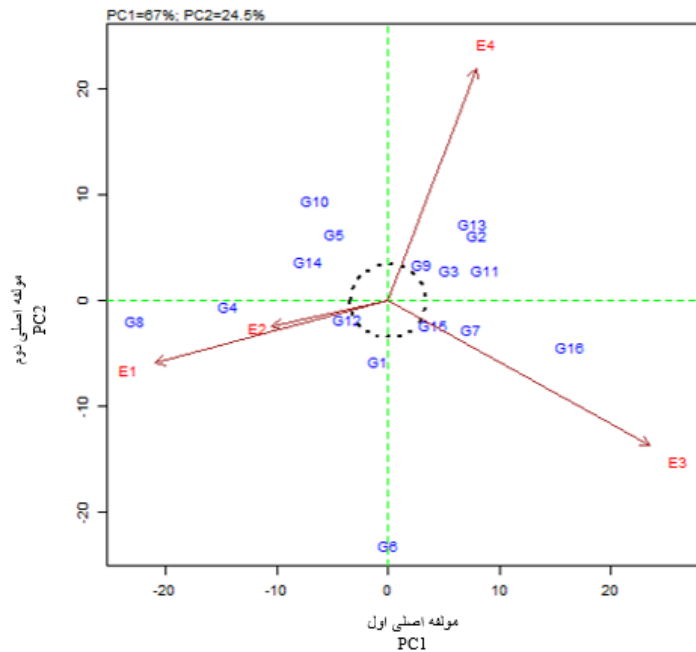
Figure 2- Biplot of mean grain yield of soybean lines, environments and values of their first main principal component (AMMI1).

لاین‌های G7 و G15، G16 و G7 دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره سوم (شرایط آبی سال دوم)، لاین G13 و G9 دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره چهارم (شرایط خشکی سال دوم) است. در این بای‌پلات محیط‌هایی با طول محور کوچک نقش کم‌تری در برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GE) و محیط‌هایی با طول محور بلند نقش بیش‌تری در اثر متقابل خواهند داشت (۳۱). بر این اساس، محیط‌های ۱ (شرایط آبی سال اول)، ۳ (شرایط آبی سال دوم) و ۴ (شرایط خشکی سال دوم) بیش‌ترین نقش را ایفا می‌کنند. نجفی میرک و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از این روش چندمتغیره توانستند مکان‌های اجرای آزمایشات مقایسه عملکرد گندم درروم در مناطق گرم

از روش امی در تعیین لاین‌های پایدار با سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف استفاده می‌شود (۳۰). شکل ۳ نتایج تجزیه امی ژنوتیپ‌ها را براساس مقادیر مولفه‌های اصلی اول و دوم نشان می‌دهد. در این شکل هر محیط به صورت بردار و لاین‌ها به صورت نقطه نشان داده شده است. بر این اساس لاین‌های G1، G3، G15، G12، G9 و G7 که در مرکز بای‌پلات قرار دارند اثر متقابل کوچک‌تر و بنابراین، پایداری عمومی دارند. لاین‌های G1، G3 و G7 به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان لاین‌هایی با سازگاری عمومی خوب شناخته می‌شوند. لاین‌های G4 و G8 در محیط اول و دوم (در شرایط آبی و خشکی سال اول)،

برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب استفاده کرده و آن را ابزاری قوی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به کم آبی در محیط‌های مختلف دانستند (۳۳، ۳۴).

ایران را براساس تشابه و تفاوت آن‌ها گروه‌بندی کرده و ژنوتیپ‌های دوروم سازگار با آن مناطق را شناسایی و معرفی کنند (۳۲). محققان مختلفی از روش امی،



شکل ۳- نمودار بای پلات مدل امی برای ۱۶ ژنوتیپ سویا در ۴ محیط.

Figure 3- Biplot shape of AMMI model for 16 soybean genotypes across four environments.

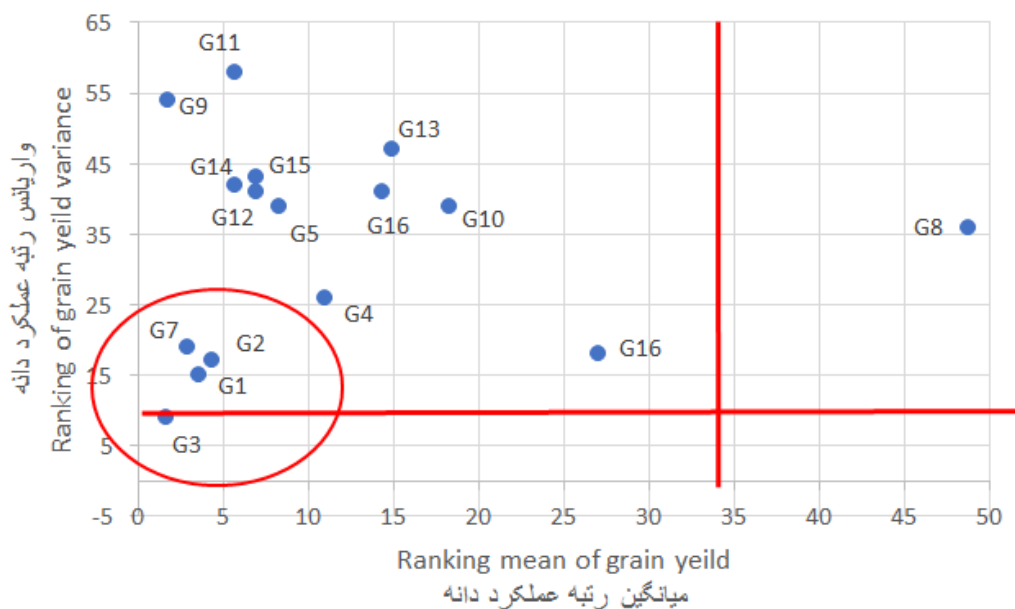
شکل ۴ تغییرات میانگین و واریانس رتبه عملکرد لاین‌ها، در محیط‌های مختلف نشان داده شده است. شریفی و همکاران (۲۰۲۰) از رتبه‌بندی و انحراف معیار رتبه عملکرد ژنوتیپ‌های برای شناسایی رقم پایدار برنج استفاده کرده و یکی از ارقام را با رتبه بالا در عملکرد و میزان انحراف معیار رتبه پایین، را به عنوان رقمی پایدار معرفی نمودند (۳۵).

مقایسه رتبه‌بندی متوسط عملکرد لاین‌ها نتایج نشان داد که لاین G3 با متوسط عملکرد ۲۵۴۵ کیلوگرم دانه در هکتار و کم‌ترین جمع رتبه (۹) و واریانس رتبه (۱/۶) به عنوان رقم سازگار با پایداری بالا برای کشت توصیه می‌گردد. لاین G1 در جایگاه دوم قرار گرفته و لاین‌های G2 و G7 با توجه به پتانسیل بالای عملکرد، رتبه و واریانس کم‌تر در اولویت بعدی قرار می‌گیرند (جدول ۵ و شکل ۴). در

جدول ۵- مقایسه رتبه‌بندی میانگین عملکرد دانه سویا در سال‌های مختلف.

Table 5 - Comparison of the mean ranking of soybean yield in different years.

شماره ژنوتیپ Genotype number	میانگین عملکرد دانه و رتبه لاین‌ها در سال اول در شرایط نرمال (E1)		میانگین عملکرد دانه و رتبه لاین‌ها در سال اول در شرایط تنش (E2)		میانگین عملکرد دانه و رتبه لاین‌ها در سال دوم در شرایط نرمال (E3)		میانگین عملکرد دانه و رتبه لاین‌ها در سال دوم در شرایط تنش (E4)		میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Mean grain yield (Kg/ha)	جمع رتبه Sum of ranking	واریانس رتبه Rank variance
	Average grain yield and ranking of lines in the first year under normal condition	Average grain yield and ranking of lines in the first year under stress condition	Average grain yield and ranking of lines in the second year under normal condition	Average grain yield and ranking of lines in the second year under stress condition							
G1	2912	5	1831	1	2860	5	1719	4	2330.5	15	3.6
G2	2868	6	1520	6	3013	3	2199	2	2399.9	17	4.3
G3	3043	4	1776	2	3132	2	2229	1	2545.1	9	1.6
G4	3118	2	1502	7	2217	10	1523	7	2090.2	26	11.0
G5	2492	10	1370	10	2128	13	1532	6	1880.7	39	8.3
G6	3123	1	1724	4	3178	1	1340	12	2341.2	18	27.0
G7	2716	7	1530	5	2978	4	1815	3	2259.9	19	2.9
G8	3087	3	1753	3	1911	16	1306	14	2014.2	36	48.7
G9	2132	13	967	14	2139	12	1298	15	1634.0	54	1.7
G10	2478	11	1447	8	2033	15	1593	5	1887.9	39	18.3
G11	1841	16	856	15	2177	11	1211	16	1521.3	58	5.7
G12	2536	8	1296	12	2265	8	1330	13	1856.9	41	6.9
G13	2074	14	807	16	2218	9	1452	8	1637.7	47	14.9
G14	2522	9	1410	9	2077	14	1419	10	1857.1	42	5.7
G15	2380	12	1215	13	2491	7	1403	11	1872.4	43	6.9
G16	1948	15	1339	11	2830	6	1440	9	1889.2	41	14.3
میانگین	2579		1397		2478		1551		2001.1	34	11.4



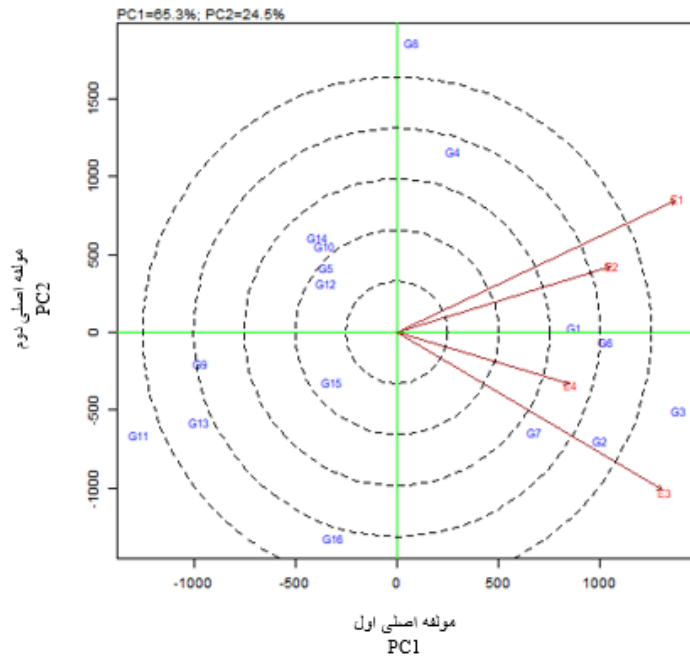
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین و واریانس رتبه عملکرد لاین‌های سویا.

Figure 4- Comparison diagram of mean and variance rank yield of soybean lines.

بهتری برای تمایز ژنوتیپ‌ها دارد (۳۶). طول بردار مکان کرج در شرایط آبی در سال اول و دوم (به ترتیب E1 و E2) بلند است که بیان کننده تمایز خوب این دو محیط است. طول بردار E4 (تنش کم آبی در سال دوم) از سایر محیط‌ها کم‌تر بود که نشان دهنده تاثیر کم‌تر این محیط در تمایز ژنوتیپ‌هاست. این نتایج با نتایج دادرس و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی نشان داد (۲۳). در مطالعه آن‌ها محیط مکانی رشت در شرایط نرمال و تنش دارای زاویه کوچک و نشان دهنده همبستگی نسبتاً زیاد این دو محیط بوده و این در صورتی است که محیط رشت نرمال با محیط گنبد نرمال و گنبد تنش زاویه بزرگ و نزدیک ۹۰ درجه داشت که بیان‌گر همبستگی کم این محیط‌ها با هم بود (۲۳).

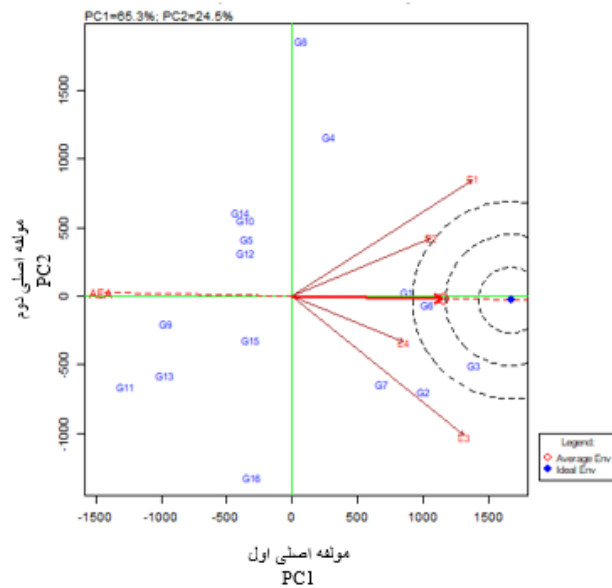
شکل ۶ رتبه‌بندی محیط‌ها براساس محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد. در واقع، محیط‌های ایده‌آل بیش‌ترین قابلیت تشخیص و نمایندگی را در بین دیگر محیط‌ها دارند (۳۶). بر این اساس در این نمودار شرایط تنش آبی کرج سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ (E1) به علت قرار گرفتن در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دوایر متحد‌المرکز به عنوان بهترین محیط و پس از آن شرایط تنش آبی کرج سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ (E3) شناخته شد. E2 و E4 (شرایط آبی سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و ۱۳۹۴-۱۳۹۵) به ترتیب به عنوان ضعیف‌ترین محیط‌ها شناخته شد. فروتوسو سیلوا و همکاران (۲۰۲۱) از روش GGE biplot به منظور بررسی پایداری ۱۳ لاین سویا در ۱۸ محیط استفاده کرده و نشان دادند که ۶ محیط بردارهای کوچکی داشته که اثربخشی کمی در تمایز ژنوتیپ‌ها داشتند (۳۶).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، برای تشخیص لاین‌های پایدار و سازگار با محیط از روش GGE biplot استفاده شد. مجموع دو مولفه اصلی اول و دوم ($PC1=65$, $PC2=24$) برابر با ۸۹ درصد بود و بیان‌گر آن است که این دو مولفه تغییرات واریانس عملکرد دانه سویا در شرایط تنش را تبیین می‌نمایند. فروتوسو سیلوا و همکاران (۲۰۲۱) از روش GGE biplot به منظور بررسی پایداری ۱۳ لاین سویا در ۱۸ محیط استفاده کرده و نشان دادند که ۷۰ درصد از تغییرات توسط مجموع سه مولفه اول قابل توجه بود (۳۶). شکل ۵ روابط و همبستگی بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. هر چه زاویه بین بردارهای محیط در این نمودار نزدیک به هم (کم‌تر از ۹۰ درجه) باشد نشان‌دهنده همبستگی بیش‌تر بین دو محیط است. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد همبستگی بین دو محیط صفر، اگر زاویه صفر درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها +۱ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی -۱ خواهد بود (۲۳). در سال اول، شرایط آبی و تنش دارای زاویه کوچک می‌باشند این روند در بردارهای نرمال و تنش سال دوم نیز دیده می‌شود که نشان دهنده همبستگی نسبتاً زیاد این دو محیط در یک سال می‌باشد؛ این در حالی است که محیط‌های آبی کرج در سال اول و دوم زاویه بزرگ و نزدیک به ۹۰ درجه دارند و این بیان‌گر همبستگی کم این محیط‌ها با هم است که نشان‌دهنده اختلاف زیاد مشاهده شده در طی دو سال است که احتمالاً به علت اختلاف دما در طول فصل کشت گیاه طی دو سال زراعی می‌باشد. همچنین، طول بردارهای محیط معیاری از توانایی محیط در تمایز ژنوتیپ‌ها بوده و هر چه طول بردار بلندتر باشد، محیط توانایی



شکل ۵- بای پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه.

Figure 5- Biplot view for displaying the relationships among the studied environments.



شکل ۶- نمودار رتبه‌بندی محیط‌ها براساس محیط ایده‌آل.

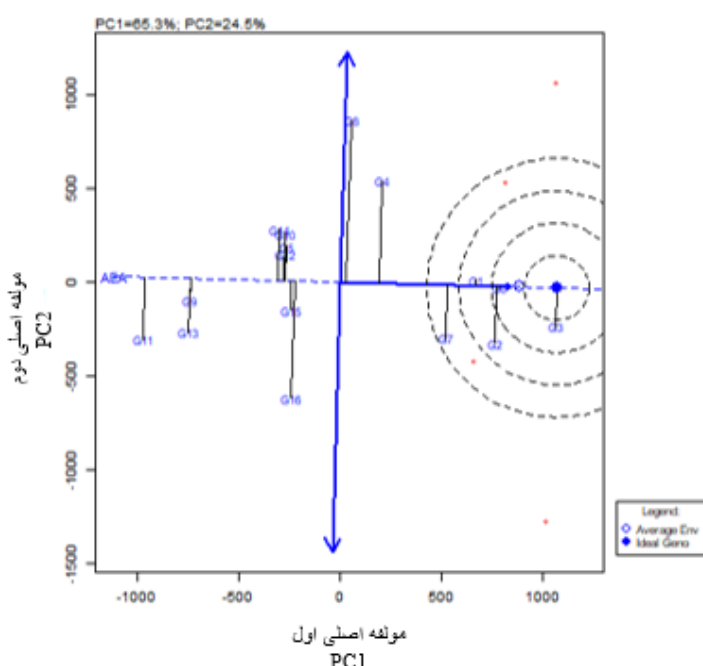
Figure 6- Ranking biplot environments based on hypothetical ideal environment.

عملکرد بیش‌تری هستند و بالعکس. ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ در مرکز دایره متحد‌المركز قرار می‌گیرد (۱۴، ۲۶). بر این اساس لاین G3 در مرکز بای پلات قرار گرفته و به عنوان بهترین لاین شناخته شد. پس از آن

شکل ۷ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس ژنوتیپ‌های ایده‌آل را نشان می‌دهد. در این نمودار تمامی ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی ارزیابی می‌شوند. ارقامی که در ابتدای مثبت این محور قرار دارند؛ دارای

پایداری بیش‌تری برخوردار هستند (۲۶). بر این اساس لاین‌هایی با عملکرد و پایداری بالا و لاین‌های G9, G12 و G15 به عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد پایین شناخته شدند. مسعودی و همکاران (۲۰۲۱) نیز با استفاده از GGE برای پلات توانستند ژنوتیپ‌های کنجد پایدار و دارای سازگاری عمومی را در مناطق کرج، مغان و جیرفت شناسایی کنند (۲۷).

لاین‌های G6, G2, G1 و G7 به عنوان بهترین لاین‌ها معرفی شدند. سایر لاین‌ها همچون G11, G13 و G9 و غیره، نامناسب‌ترین لاین‌ها بودند. خطی که از مبدأ گذشته و روی محور میانگین محیط‌ها عمود شده است (این خط با دو علامت پیکان در شکل مشخص شده است) جهت تعیین پایداری ارقام استفاده می‌شود. ارقامی که نزدیک به مبدأ این محور قرار دارند نسبت به ارقامی که نزدیک به انتهای این خط می‌باشند از



شکل ۷ - بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده

Figure 7- Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype.

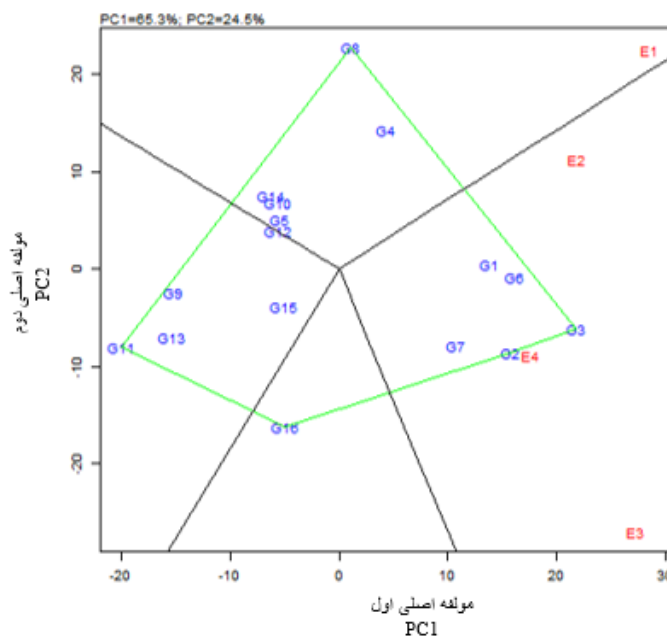
(شرایط کم آبی در سال اول)، E3 (شرایط آبی سال دوم) و E4 (شرایط کم آبی در سال دوم) لاین G3 بیش‌ترین عملکرد را داشته و لاین برتر در این محیط‌ها بود و سازگاری بالایی با این محیط‌ها داشت. لاین‌های G1, G2, G6, G7 و نیز تشابه زیادی با این لاین در این محیط‌ها داشتند. در محیط دوم، E1 (شرایط آبی در سال اول)، لاین G8 برترین لاین بود و لاین‌های G4, G10, G14, G5 نیز تشابه زیادی با این لاین در این محیط داشتند. لاین‌های G15, G16

در نمودار چندضلعی، ژنوتیپ‌هایی که در راس چندضلعی قرار می‌گیرند در کلیه محیط‌هایی که در درون آن بخش قرار گرفته‌اند، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالایی با آن محیط‌ها می‌باشند (۳۶). لاین‌های G3, G8, G16 و G11 در رئوس چندضلعی قرار دارند و لاین‌های از نظر عملکرد دانه، بهترین در آن محیط‌ها هستند. همچنین، براساس این نمودار دو محیط بزرگ^۲ مشخص گردید. در محیط اول، E2

2. Mega- Environment

متقابل ژنوتیپ \times محیط در گیاهان مختلف استفاده کرده و نمودار چند ضلعی را برای تفسیر نتایج مناسب دانستند و نتایج قابل قبولی را نیز گزارش کرده‌اند (۲۳، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹).

G9، G13، G11 و G12 در هیچ یک از محیط‌های بزرگ قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عملکرد نامطلوب این لاین‌ها در تمامی محیط‌ها است و لاین‌های ضعیف می‌باشند (شکل ۸). پژوهش‌گران متعددی از روش گرافیکی GGE biplot به منظور تفسیر اثر



شکل ۸- نمودار چندضلعی GGE biplot برای گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه.

Figure 8- GGE biplot polygon for grouping the studied environments.

لاین‌های G1، G3 و G2 مشاهده شد. همچنین، در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین عملکرد در لاین‌های G3 و G2 به‌دست آمد. لاین G3 با داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، به عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته شد. نتایج نشان داد که لاین‌های G1 و G3 به عنوان لاین‌هایی با پایداری عمومی بالا بوده و از لحاظ سازگاری خصوصی نیز لاین‌های G3 و G8 با توجه به عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان مناسب‌ترین لاین در نظر گرفته شدند. بر اساس نمودار بای‌پلات رتبه‌بندی میانگین و انحراف معیار رتبه عملکرد دانه لاین‌ها G1، G3، G2 و G7 کم‌ترین اثر متقابل را با محیط داشته و به عنوان لاین پایدار شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تغییرات شدید اقلیمی سال‌های اخیر و پیش‌بینی کم‌آبی و خشکی و گرمای فزاینده در اغلب مناطق ایران، به‌ویژه در مناطقی که برای توسعه کشت سویا در نظر گرفته شده و نیز اثرات منفی این روند بر میزان عملکرد و ثبات تولید سویا در کشور، دست‌یابی به استراتژی مبتنی بر شناخت روش‌های کاربردی برای تعیین، افزایش عملکرد و سازگاری ارقام سویا ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق پس از اطمینان از معنی‌داری اثر ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف تجزیه پایداری عملکرد دانه انجام شد و نتایج آن‌ها با یکدیگر سنجیده شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ترتیب در

میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل و ارقام شاهد به عنوان لاین‌های مناسب جهت کشت در مناطق کم آب معرفی می‌گردند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه شماره ۹۴۳۰۷-۰۳-۰۳ بوده و نویسندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاسگزاری را از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بابت حمایت‌های به عمل آمده اعلام دارند.

در نمودار بای‌پلات دو مولفه اصلی اول و آماره ارزش پایداری مدل AMMI با عملکرد لاین‌های G2، G6، G3، G1 و G7 به عنوان لاین‌هایی با پایداری بیشتر شناخته شدند. براساس نمودار چندضلعی GGE، نیز لاین‌های G1، G2، G6، G7، G4 و G5 انتخاب شدند. همچنین، لاین‌های G3 و G8 با کرج در شرایط بدون تنش و تنش سازگاری خصوصی خوبی را نشان دادند. بنابراین در این تحقیق لاین G3 (L. Williams x Katool)، G1 (L. Columbus x L.45) و G2 (L. Krasnodar 778 x L. Craford x Lan) 44) با

References

1. Chaudhary, K.R. and Wu, J. 2012. "Stability Analysis for Yield and Seed Quality of Soybean [*Glycine Max* (L.) Merrill] Across Different Environments in Eastern South Dakota. Conference on Applied Statistics in Agriculture. KUS. 215-220.
2. Wu, N., Guan, Y. and Shi, T. 2011. Effect of water stress on physiological traits and yield in rice backcross lines after anthesis. Energy Proced. 5: 5. 255-260.
3. Ku, Y.S., Au-Yeung, W.K., Yung, Y.L., Li, M.W., Wen, C.Q., Liu, X. and Lam, H.M. 2013. Drought stress and tolerance in soybean. In a comprehensive survey of international soybean research - genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships (eds). J.E. Board (New York, NY: InTech). 12: 1. 209-237.
4. Khalili, M., Naghavi, M., Pour-Aboughadareh, A. and Rad, N.H. 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). Int J Agron Plant Prod. 4: 38-49.
5. Santos, A., Amaral Júnior, A. T., Nascimento Ferreira Kurosawa, Ra., Schegoscheski Gerhardt, I.F. and Fritsche Neto, R. 2017. GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. Cienc. Agrotecnol. 41: 1. 22-31.
6. Kron, A.P., Souza, G.M. and Ribeiro, R.V. 2008. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. Bragantia. 67: 1.43-49.
7. Rolla, A.A.P., Carvalho, J.F.C, Fuganti-Pagliarini, R., Engels, C., Rio, A., Marin, S.R.R., Oliveira, M.C.N., Beneventi, M.A., Marcelino-Guimarães, F.C., Farias, J.R.B., Neumaier, N., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Nepomuceno, A.L. 2014. Phenotyping soybean plants transformed with rd29A:AtDREB1A for drought tolerance in the greenhouse and field. Transgenic Res. 23: 1. 75-87.
8. Daneshian J, 2015. Evaluation of grain yield and agronomic traits of soybean cultivars and lines under water deficit condition. Final report. Seed and Plant improvement Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). 75p.
9. Li, Y.C., Yu, D.Y., Xu, R. and Gai, J.Y. 2008. Effects of natural selection of several quantitative traits of soybean RIL populations derived from the combinations of Peking ×7605 and RN-9×7605 under two ecological sites. Sci. Agric. Sin. 41: 3. 1917-1926.
10. McBlain, B.A., Hesketh, J.D. and Bernard, R.L. 1987. Genetic effects on reproductive phenology in soybean isolines differing in maturity genes. Can. J. Plant Sci. 67: 1. 105-115.
11. Becker, H.C. and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breed. 101: 1-23.
12. Abay, F. and Bjornstad, A. 2009. Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. Euphytica. 167: 2. 181-195.

13. Akcura, M., Taner, S. and Kaya, Y. 2011. Evaluation of bread wheat genotypes under irrigated multi-environment conditions using GGE biplot analyses. Turk J. Agric. 98: 1. 35-40.
14. Miranda, G.V., Souza, L.V., Guimarães, L.J. M., Namorato, H.L., Oliveira, R. and Soares, M.O. 2009. Multivariate analyses of genotype \times environment interaction of popcorn. Pesqui. Agropecu. Bras. 44: 1. 45-50.
15. Mitrovic, B., Stanisavljevic, D., Treski, S., Stojakovic, M., Ivanovic, M., Bekavac, G. and Rajkovic, M. 2012. Evaluation of experimental maize hybrids tested in multi-location trials using AMMI and GGE biplot analysis. Turk J. Field Crop. 17: 1. 35-40.
16. Karimzadeh, R., Dehghani, H., Dehghanpour, Z. 2008. Use of Ammi method for estimating genotype-environment interaction in early maturing corn hybrids. Seed Plant. 23: 4. 531-546.
17. Tiwari, J.K. 2019. GGE biplot and AMMI model to evaluate spine gourd (*Momordica dioica* Roxb.) for genotype \times environment interaction and seasonal adaptation. Electron. J. Plant Breed. 10: 1. 264-271.
18. Yan, W. and Tinker, N.A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86: 3. 626-645.
19. Babaei, H.R., Sabzi, H. and Razmi, N. 2018. Application of AMMI approach in "Genotype \times Environment" interaction analysis and determining yield stability of soybean purelines [*Glycine max* (L.) Merrill]. Ir. J. Field Crop Sci. 50: 1. 129-137. (In Persian)
20. Babaei, H.R., Nasrin, R., Hazarjaribi, E. and Hashemijazi, M. 2020. Study on adaptability and grain yield stability of soybean genotypes [*Glycine Max* (L.) Merrill] through AMMI & GGE biplot analysis. J. Crop Breed. 12: 35. 238-250. (In Persian).
21. Anggoro Susanto, G.W., Haksiwi Putri, P., Maulana, H., Wijaya, A.A. and Karuniawan, Agung. 2021. Mega-environment analysis and identify stable and high-yielding of new promising black soybean lines in indonesia. Res Sq. 3: 2. 1-17.
22. Emuohwo Edugbo, R., Emeka Nwofia, G. 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 humidoreast fringes of Southeast Nigeria. Agric. Trop. Et. Subtrop. 48: 3. 82-90.
23. Dadras, A.R., Samizadeh, H. and Sabouri, H. 2017. Evaluation of soybean varieties and advanced lines yield under drought stress. Conditions using GGE biplot analysis. J. Crop Breed. 9: 23. 18-26.
24. Purchase, J.L., Hatting, H. and Vandeventer, C.S. 2000. Genotype \times environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Afric. J. Plant Soil. 17: 3. 101-107.
25. Asghari, Q., Azizi, S. R. and Mirzaei, S. 2016. Statistical yearbook of Alborz province 1394. Alborz. Prov. MPO. 1-560. (In Persian)
26. President, Country Management and Planning Organization. 2016. Yearbook of National Statistics. SCI, Frost 4968. 912p. <https://www.amar.org.ir>. (In Persian)
27. Liu, Z., Fan, X., Huang, W., Yang, J., Zheng, Y., Wang, S. and Qiu, L., 2017. Stability analysis of seven agronomic traits for soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Tokachi nagaha and its derived cultivars using the AMMI model. Plant Prod. Sci. 20: 4. 499-506.
28. Farshadfar, E., Mahmodi, N. and Yaghotipoor, A. 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Aust. J. Crop Sci. 5: 13. 1837-1844.
29. Zahrabi, E., Atminan, A., Safari, H. and Ashraf Jafari, A. 2011. Evaluation of forage yield stability in extensions of *Elymus hispidus* species with AMMI model and other methods of stability analysis in both stress and non-stress environments. Range. 5: 2. 209-218.
30. Hailemariam, M. and Tesfaye, A. 2019. Genotype \times environment interaction by ammi and gge-biplot stability analysis in grain yield for soybean [*glycine max* (L.) Merrill] in Ethiopia. Int. j. for. hortic.. 5: 4. 10-21.
31. Yan, W.K. and Kang, M.S. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists (Boca Raton: FL: CRC press). 288p.

32. Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Farzadi, H., Sayahfar, M. and Andarzian, B. 2020. Study of durum wheat yield stability in warm zone of iran under normal and drought stress. J. Crop. Breed. 12: 35. 80- 90.
33. Latifi, P., Najaphy, A. and Zarei, L. 2020 .Study of grain yield stability of barley (*Hurdem vulgare* L.) genotypes by AMMI model. Env. Stresses Crop Sci. 13: 2. 319-329.
34. Sadeghzadeh, B., Mohammadi, R., Ahmadi, H., Abedias, G.R., Ahmadi, M. M., Mohammadfam, M., Bahrami, N., Sharif Khaledian, M. and Naserian, A.A. 2018. GGE biplot and AMMI application in the study of adaptability and grain yield stability of durum lines under dryland conditions. Env. Stresses Crop Sci. 11: 2. 241-260. (In Persian)
35. Sharifi, P., Erfani, A., Mohaddesi, A., Abbasian, A., Aminpanah, H., Yousefi, M.M. and Saeedi, M. 2020. Stability analysis of grain yield of some of rice genotypes by parametric and nonparametric uni-variate methods. J. Crop Prod. 13: 3. 85-106. (In Persian)
36. Frutuoso Silva, K.E., DoVale, J.C., Fritsche-Neto, R. and Newton Marques, J. 2021. GGE biplot projection in adaptability and stability inference of soybean in an agricultural center Paraná, Brazil. Scientific Article. Rev. Ciênc. Agron. 52: 1.1-9.
37. Krisnawati, A. and Muchlish Adie, M. 2018. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in soybean promising lines. J. Ilmu Pertanian (Agric Sci. J.) 3: 2. 72-81.
38. Masoudi, B., Abbasali, M., Aien, A. and Saif Amiri. S. 2021. Evaluation of sesame yield stability using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. J. Crop Prod. 3: 1.71-84. (In Persian)
39. Santos, A., Amaral Júnior, A. T., Nascimento Ferreira Kurosawa, Ra., Schegoscheski Gerhardt, I.F. and Fritsche Neto, R. 2017. GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. Cienc. Agrotecnol. 41: 1. 22-31.

