"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امید بخش سویا (*Glycine max* L. Merril) با استفاده از روش GGE بای‌پلات

Evaluation of adaptability and seed yield stability of soybean (*Glycine max* L. Merril) promising lines using GGE biplot analysis

حمیدرضا بابائی[۱]، نسرین رزمی[۲]، سامیه رئیسی[۳] و حسین سبزی[۴]

چکیده

بابائی، ح.ر.، ن. رزمی، س. رئیسی و ح. سبزی. ۱۳۹۹. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امید بخش سویا (*Glycine max* L. Merril) با استفاده از روش GGE بای‌پلات. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲(۲): ۱۹۷-۱۸۳.**

گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد و پایداری بالا هدف نهائی اغلب برنامه‌های اصلاحی سویا است. با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش سویا، ۱۹ لاین امیدبخش به همراه رقم ویلیامز (شاهد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مناطق کرج، گرگان، مغان و خرم‌آباد طی دو سال زراعی (۱۳۹۲ و۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد از تجزیه GGE بای‌پلات استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات سال، مکان، سال در مکان، ژنوتیپ، ژنوتیپ در سال، ژنوتیپ در مکان و ژنوتیپ در سال در مکان در سطح ۱ ٪ معنی‌دار بودند. سهم واریانس اثرات سال، مکان و ژنوتیپ به‌ترتیب ۰/۰۱، ۰/۶۰ و ۰/۰۲ بود که بیانگر سهم قابل توجه اثر مکان آزمایشی بود. دو مولفه PC1 و PC2 در مجموع ۵۸ درصد از واریانس مربوط به اثر ژنوتیپ به اضافه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند. در این تحقیق سه محیط کلان مشخص شدند که اولین محیط کلان شامل محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۳)، E5 (مغان ۱۳۹۲) و E8 (گرگان ۱۳۹۳) و لاین G16 برترین ژنوتیپ این محیط بود، دومین محیط کلان شامل محیط‌های E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) و لاین G8 برترین ژنوتیپ این محیط بود و سومین محیط کلان شامل محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۲) و E7 (گرگان ۱۳۹۲) و لاین G17 برترین ژنوتیپ این محیط بودند. نتایج تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد که لاین G17 (L85-3059) با ۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار و لاین G16 (L12/Chaleston × Mostang) با ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و پایداری بودند. همچنین محیط E7 (گرگان ۱۳۹۲) مطلوب‌ترین محیط از نظر قدرت تمایز بین ژنوتیپ‌های سویا و بهترین نماینده منطقه هدف در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، تجزیه بای‌پلات، سویا، ژنوتیپ مطلوب و محیط مطلوب.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی مصوب شماره ۹۲۱۳۳-۰۳۰۸-۰۳-۰۳ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: 30241hrbabaei@gmail.com)

۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (پارس آباد مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد مغان، 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- کارشناس بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

مقدمه

گیاه روغنی سویا (*Glycine max*) به‌دلیل سازگاری بالا در دامنه وسیعی از عرض‌های جغرافیایی در دنیا کشت و کار می‌شود. در اغلب مزارع سویا در ایران از ارقام تجارتی استفاده می‌شود که از برنامه‌های به‌نژادی داخل کشور بدست آمده‌اند (Babaei *et al.*, 2016). وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای صفات کمی مانند عملکرد دانه باعث می‌شود که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف عملکرد نسبی مشابهی نداشته باشند. روش‌های آماری بسیاری مانند تجزیه واریانس و رگرسیون و روش‌های ناپارامتری برای برآورد اثرهای اصلی ژنوتیپ، محیط، اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و تعیین سازگاری ارقام توسط فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) و ابرهارت و راسل (Eberhart and Russel, 1966) معرفی و مورد استفاده قرارگرفته است. در بسیاری از این روش‌ها برخی از فرضیات اساسی تجزیه پایداری از جمله واکنش غیرخطی ژنوتیپ و محیط و وابستگی متغیر مستقل (شاخص محیطی) به متغیر تابع (میانگین ژنوتیپ‌ها) صادق نیست (Basford and Cooper, 1998). با استفاده از روش‌های چند متغیره از جمله تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (Additive main effect and multiplicative interaction; AMMI) می‌توان اثرات ضرب‌پذیر ژنوتیپ در محیط را تجزیه و مقدار آن را برآورد نمود (Silveira *et al.*, 2016). در آزمایش‌های تعیین سازگاری و پایداری ارقام که در چند سال و مکان اجرا می‌شود، می‌توان با استفاده از روش GGE بای پلات و با لحاظ نمودن اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE)، دو مؤلفه PC1 و PC2 را تعریف نموده و همزمان عملکرد و پایداری ارقام را مورد ارزیابی قرار داد (Yan and Kang, 2003). روش GGE بای‌پلات از حیث تجزیه اثر "ژنوتیپ × محیط" موفق‌تر و کارآمدتر از روش AMMI بوده و اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست، بنابراین حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل "ژنوتیپ × محیط" مفید خواهد بود (Yan *et al.*, 2007). در این روش برای انتخاب ژنوتیپ مطلوب یک ژنوتیپ ایده‌آل فرضی براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تعیین می‌شود که علاوه بر عملکرد بالا و پایداری مطلوب، باید سازگاری وسیعی در مناطق هدف نیز داشته باشند. در نمودار بای‌پلات از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز قرار دارد (Amira *et al.*, 2013, Bhartiya *et al.*, 2017) میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به فاصله آنها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. هر قدر فاصله یک ژنوتیپ از ژنوتیپ مطلوب کمتر باشد، مطلوبیت آن بیشتر و هرچقدر این فاصله بیشتر باشد مطلوبیت آن کمتر خواهد بود. در روش GGE بای‌پلات همچنین می‌توان با تعیین همبستگی بین محیط‌ها و با هدف کاهش هزینه آزمایشات، محیط‌های مشابه را شناسایی و برخی از آنها را حذف نمود. در این روش 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 این زاویه صفر درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها ۱+ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی ۱- خواهد بود (Yan and Kang, 2003). 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 برتر بر اساس عملکردشان دارند (Yan and Kang, 2003, Alake and Ariyo, 2012 ;

(Amira *et al.*, 2013). 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 برای تعیین میزان بیانگری محیط است. هر قدر این زاویه کوچک‌تر باشد، میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط مورد نظر نماینده بهتری از منطقه هدف خواهد بود و برعکس. بنابراین محیط مطلوب محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز و نمایندگی بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم مرکز بای‌پلات قرار داشته باشد. میزان مطلوبیت محیط‌ها به وسیله فاصله آنها از محیط مطلوب سنجیده می‌شود. هر اندازه یک محیط آزمایشی به محیط مطلوب نزدیک‌تر باشد، از این حیث که ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی نماید و نماینده بهتری از مناطق هدف باشد، مطلوب‌تر خواهد بود و برعکس هر اندازه از محیط مطلوب فاصله بیشتری داشته باشد، نماینده مناسبی از مناطق هدف نبوده و بدین جهت توانایی تشخیص ژنوتیپ‌های برتر را نیز نخواهد داشت (Jandong *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2003). آتنف و همکاران (Atnaf *et al.*, 2013) در آزمایشی به منظور ارزیابی کمی و کیفی اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط روی عملکرد دانه ۳۲ ژنوتیپ سویا طی دو سال (۲۰۰۸ - ۲۰۰۷) در چهار مکان گزارش نمودند که سهم واریانس محیطی ۲۵/۶ درصد، واریانس ژنوتیپی ۱۴/۹ درصد و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ۵۵/۶ درصد بود. نتایج آزمایش همچنین نشان دهنده اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ در محیط از نوع متقاطع بود و دو مولفه اول (PC1) و دوم (PC2) به ترتیب ۴۱/۶ درصد و ۲۱/۸ درصد از میانگین مربعات GGE را بخود اختصاص دادند. در این آزمایش ژنوتیپ‌های TGX-1998-29F، TGX-849-313D و TGX-1889-29F با توجه به عملکرد و پایداری بالا به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. بیهارتیا و همکاران (Bhartiya *et al.*, 2017) در بررسی سازگاری ۳۶ ژنوتیپ سویا در سه مکان با عرض‌های مختلف جغرافیایی با استفاده از تجزیه AMMI و روش نموداری GGE بای‌پلات اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را معنی‌دار گزارش نموده و سهم هر یک از اثرات را به‌ترتیب ۹/۸ درصد، ۲۹ درصد و ۴۷/۶ درصد از واریانس کل ذکر کردند. آنان همچنین گزارش کردند که نمودار دوبعدی GGE بای‌پلات نحوه ارتباط محیط‌ها با یکدیگر و با ژنوتیپ‌ها را بخوبی نشان داده و اولین جفت مولفه‌های PC1 و PC2 به ترتیب ۴۵/۷ و ۳۸/۹ درصد از واریانس ناشی از ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. در این آزمایش ژنوتیپ C1(PS1539) بهترین ژنوتیپ به لحاظ عملکرد بالا و حداقل اثر متقابل شناخته شد. سیلویرا و همکاران (Silveira *et al.*, 2016) در ارزیابی سازگاری و پایداری فنوتیپی ۱۰ ژنوتیپ سویا در ۱۲ محیط در ایالت پرانا برزیل با استفاده از روش AMMI گزارش نمودند که اثرات غیرافزایشی ۶۶ درصد از واریانس کل را تشکیل دادند که از این میزان ۴۳ درصد مربوطه به مولفه اول (IPCA1) و ۲۳ درصد مربوط به مولفه دوم (IPCA2) بوده است. در این آزمایش ژنوتیپ‌های SYN1059، SYN1163 و VMAX از عملکرد و سازگاری عمومی بالایی برخوردار بودند. چاداری و وه (Chaudhary and Wu, 2012) در ارزیابی سازگاری ۱۵ ژنوتیپ سویا در شش مکان از نواحی شرقی ایالت داکوتای جنوبی با استفاده از روش تجزیه AMMI نشان دادند که اجزای واریانس اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای سه صفت عملکرد دانه، روغن و پروتئین معنی‌دار بوده و ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه در شش مکان رتبه‌های متفاوتی داشتند. بر اساس نتایج حاصله از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12 و Hefty H19Y12، از نظر میزان پروتئین دانه ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12، SD 2172، Northstar 1325R2 و Northstar 1726NR2 و از نظر میزان روغن دانه ژنوتیپ‌های Hefty H12Y12،

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

Nutech 6145 از سازگاری عمومی بالایی در مناطق مورد بررسی برخوردار بودند. پورداد و جمشیدمقدم (Pourdad and Jamshid-Mogaddam, 2013) در بررسی سازگاری نه رقم کلزا در نه محیط گزارش کردند که ۷۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۹/۳ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۱/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بود. بررسی بای‌پلات چندضلعی منجر به شناسایی شش ژنوتیپ برتر و دو محیط کلان شده و ژنوتیپ‌های مناسب برای هر محیط کلان نیز شناسایی شدند. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از بای پلات مختصات محیط متوسط نیز نشان داد که هیبرید Hyola401 با بیشترین عملکرد دانه ناپایدارترین ژنوتیپ و دو رقم Option 500 و Kristina با عملکردهای بالا و پایداری نسبی، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در آزمایش بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۴ ژنوتیپ سویا که در چهار منطقه آدنا، آنتالیا، ازمیر و سانی‌اورفا ترکیه طی سه سال زراعی (۲۰۱۶-۲۰۱۴) انجام گرفت، تجزیه واریانس بیانگر سهم ۲/۶ درصد اثر ژنوتیپ و ۵۱ درصد اثر محیط از واریانس کل بود، در حالیکه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ۲۱ درصد از واریانس کل را به‌خود اختصاص داد. در تجزیه GGE بای‌پلات پنج محیط کلان شناسایی شد و شش ژنوتیپ KANA، KASM02، ARISOY، BATEM306، BATEM207 و ATAEM7 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و BAEM317 باتوجه به عملکرد دانه و مجموع صفات زراعی به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب انتخاب شدند (Kocaturk *et al.*, 2019).

در تحقیق حاضر با هدف معرفی یک لاین امیدبخش پرمحصول سویا با پایداری عملکرد بالا برای کشت در مناطق هدف با استفاده از ۱۹ لاین امیدبخش سویا حاصل از برنامه‌های به‌نژادی سویا موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر همراه با رقم تجارتی ویلیامز از نظر سازگاری و پایداری عملکرد دانه در چهار منطقه کرج، گرگان، مغان و خرم‌آباد مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۹ لاین امیدبخش سویا حاصل از برنامه‌های مختلف به‌نژادی دهه ۸۰ که پس از ارزیابی در آزمایش مقدماتی عملکرد دانه به‌عنوان لاین‌های امیدبخش برتر انتخاب شده بودند به همراه رقم ویلیامز (شاهد) جهت بررسی سازگاری و پایداری عملکرد و انتخاب ژنوتیپ مطلوب به‌عنوان رقم جدید در مناطق کرج، مغان، خرم‌آباد و گرگان طی دو سال زراعی (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملیات زراعی در کشت بهاره شامل شخم، دیسک، تسطیح و کوددهی به میزان لازم بطور یکسان در هر چهار منطقه انجام شد و سپس نقشه آزمایش براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی ۲۰ تیماری با چهار تکرار پیاده شد، به ترتیبی که هر بلوک شامل ۲۰ کرت و هر کرت شامل چهار ردیف چهار متری با فواصل بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود. پس از پیاده کردن نقشه آزمایش، اقدام به کشت بذر ژنوتیپ‌های مورد نظر در کرت‌های مربوطه شد. عملیات داشت و مراقبت‌های زراعی لازم شامل تنک کردن بر اساس فاصله بین بوته‌ای پنج تا هشت سانتی‌متر، وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفت تریپس (در صورت لزوم) و آبیاری در طول دوره رشد گیاه انجام شد. پس از رسیدن محصول جهت تعیین عملکرد دانه نیم متر از ابتدا و انتهای هرکرت به‌اضافه دو ردیف حاشیه حذف و محصول بقیه کرت معادل ۳/۶ متر مربع برداشت و پس از توزین به‌عنوان عملکرد هرکرت ثبت شد. پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایش، تجزیه واریانس ساده و مرکب برای عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC انجام شد. جهت تعیین سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های سویای مورد ارزیابی از روش GGE بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار Genstat 12 انجام شد (Payne *et al.*, 2009).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی مکان‌های اجرای آزمایش

Table 1. Climate parameters of experiment locations

Parameters	آماره	کرج Karaj	گرگان Gorgan	مغان Moghan	خرم‌آباد Khorramabad
Altitude (m)	ارتفاع از سطح دریا	1321	155	45	1155
Latitude	عرض جغرافیایی	35.49 ºN	36.83 ºN	39.30 ºN	33.26 ºN
Longitude	طول جغرافیایی	51.06 ºE	54.48 ºE	47.20 ºE	48.17 ºE
Total Rainfall (mm)	میانگین بارندگی سالیانه	240	700	300	499
Average Temp (^{O}C) (max)	میانگین حداکثر دما	28	23	34	25.3
Average Temp (^{O}C) (min)	میانگین حداقل دما	1	12	-0.7	9.1

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که اثر ژنوتیپ در محیط‌های کرج (۱۳۹۲)، خرم‌آباد (۱۳۹۲ و۱۳۹۳) در سطح احتمال پنج درصد و محیط‌های کرج (۱۳۹۳)، مغان (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) و گرگان (۱۳۹۳ و ۱۳۹۲) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه واریانس مرکب دو ساله هر محیط نشان داد که اثر ژنوتیپ در هر چهار مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اثر سال در کرج، خرم‌آباد و گرگان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و در مغان غیرمعنی‌دار بود و اثر متقابل ژنوتیپ در سال در آزمایش‌های کرج، گرگان و مغان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و در خرم‌آباد غیر معنی‌دار بود. تجزیه واریانس مرکب چهار مکان طی دو سال نیز نشان دهنده اثرات معنی‌دار کلیه منابع تغییر شامل سال، مکان، سال در مکان، ژنوتیپ، ژنوتیپ در سال، ژنوتیپ در مکان و ژنوتیپ در سال در مکان بود. معنی‌دار شدن اثرات ژنوتیپ در محیط نشان داد که تجزیه پایداری با تفکیک منابع مختلف واریانس می‌تواند به تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار کمک کند، بنابراین جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و محیط‌های مطلوب در این تحقیق از تجزیه GGE بای‌پلات استفاده شد. در این تحقیق سهم واریانس اثرات افزایشی سال، مکان و ژنوتیپ به‌ترتیب ۰/۰۱، ۰/۶۰ و ۰/۰۲ و سهم اثرات ضرب‌پذیر سال در مکان و ژنوتیپ در سال، ژنوتیپ در مکان و ژنوتیپ در مکان در سال به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۰۱، ۰/۰۴ و ۰/۰۳ از تغییرات کل داده‌ها بود. این نتایج نشان داد که سهم واریانس مکان‌های آزمایشی (۰/۶۰) به میزان قابل توجهی بیشتر از سال‌ها و ژنوتیپ‌های آزمایشی بوده است. به‌عبارت دیگر تنوع زیادی بین مکان‌های آزمایشی وجود داشته است.

سهم اندک واریانس اثر ژنوتیپ می‌تواند به این دلیل باشد این ژنوتیپ‌ها (لاین‌ها) در طی نسل‌های در حال تفرق و آزمایشات مقدماتی عملکرد برای گزینش لاین‌های پر محصول مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و به همین دلیل تفاوت عملکرد آنها ناچیز بود. مولفه PC1 ۳۵ درصد، مولفه PC2 ۲۳/۱ درصد و درکل ۵۸ درصد از واریانس مربوط به مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط (G + GE) را توجیه نمودند (شکل ۱). سیلویرا و همکاران (Silveira & *et al,* 2016) در ارزیابی سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌های سویا، سهم اثرات متقابل غیر افزایشی از واریانس کل را ۶۶ درصد و سهم مولفه‌های اول و دوم از اثر متقابل را به‌ترتیب ۴۳ درصد و ۲۳ درصد گزارش کردند. پورداد و جمشیدمقدم (Pourdad and Jamshid-Mogaddam, 2013) در ارزیابی سازگاری نه رقم کلزا در نه محیط گزارش کردند که ۷۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۹/۳ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۱/۵ درصد مربوط به اثر محیط در ژنوتیپ بود. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2013) در تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه ۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم و نان در شرایط دیم با استفاده از تجزیه GGE

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

بـای پـلات و رگرسـیون تـوام (ضـریب رگرسـیون + واریـانس انحـراف از رگرسـیون) سـهم اثـرات اصـلی محـیط، ژنوتیـپ و اثـر متقابـل ژنوتیـپ در محـیط را به‌ترتیب: ۸۴ درصد، ۲/۳ درصد و ۷/۷ درصـد گـزارش کردند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌هـای سـویا در هـر محیط، میانگین عملکرد هـر ژنوتیـپ درکلیـه محیط‌هـا، میانگین هر محیط و میانگین کـل محیط‌هـا و ژنوتیپ‌هـا همراه با شناسـه ژنوتیپ‌هـا و محیط‌هـا در تجزیـه GGE بای‌پلات در جدول ۲ ارائه شده است. بـر اسـاس نتـایج، میانگین عملکرد دانـه در محیط‌هـای E1 (کـرج ۱۳۹۲)، E2 (کـرج ۱۳۹۳)، E4 (خرم‌آبـاد۱۳۹۳) و E6 (مغـان ۱۳۹۳) بیشتر از میانگین عملکـرد کـل (۲۴۵۶ کیلـوگرم در هکتـار) بـود کـه نشـان دهنـده اثـر متقابـل مثبـت ژنوتیپ‌ها با این محیط‌ها می‌باشد. میـانگین عملکـرد در محیط‌های E3 (خرم‌آبـاد ۱۳۹۲)، E5 (مغـان ۱۳۹۲)، E7 (گرگان ۱۳۹۲) و E8 (گرگان ۱۳۹۳) کمتـر از میـانگین کل (۲۴۵۶ کیلوگرم در هکتار) بود که نشان دهنـده اثـر متقابل منفی ژنوتیپ‌ها با این محیط‌هـا اسـت. در محـیط E1 بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ G4 بـا ۵۰۰۰ کیلـوگرم در هکتـار و کمتـرین عملکـرد دانـه بـا ۳۵۱۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به ژنوتیپ G9 بود. در محـیط E2 بیشـترین عملکـرد دانـه مربـوط بـه ژنوتیـپ G16 بـا ۳۴۸۳ کیلوگرم در هکتـار و کمتـرین عملکـرد دانـه بـه ژنوتیـپ G2 بـه میـزان ۲۱۰۹ کیلـوگرم در هکتـار اختصاص یافت. در محیط E3 بیشترین عملکرد دانـه بـه ژنوتیـپ G8 بـا ۲۹۶۹ کیلـوگرم در هکتـار وکمتـرین عملکرد دانـه بـا ۱۳۹۶ کیلـوگرم در هکتـار بـه ژنوتیـپ G10 اختصاص پیدا کرد. در محیط E4 بیشترین عملکرد دانـه بـه ژنوتیـپ G8 بـا ۳۳۶۱ کیلـوگرم در هکتـار اختصـاص داشـت و کمتـرین عملکـرد دانـه بـا ۲۵۷۴

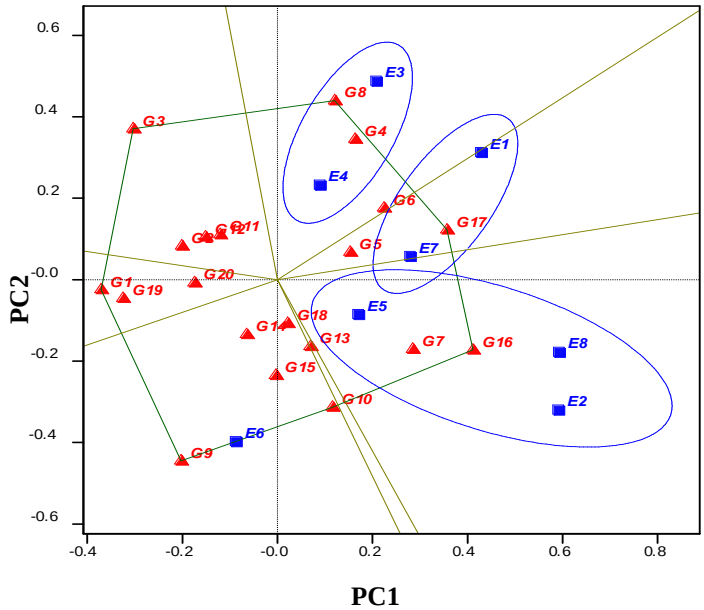
جدول ۲ – میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) لاین‌های امیدبخش سویا در محیط‌های آزمایشی و میانگین کل

Table 2. Mean grain yield ($kg.ha^{-1}$) of soybean pure lines in the experimental environments and total mean

			کرج Karaj		خرم‌آباد Khoramabad		مغان Moghan		گرگان Gorgan		
ردیف Row	شناسه Code	شجره Pedigree	۱۳۹۲ 2013 (E1)	۱۳۹۳ 2014 (E2)	۱۳۹۲ 2013 (E3)	۱۳۹۳ 2014 (E4)	۱۳۹۲ 2013 (E5)	۱۳۹۳ 2014 (E6)	۱۳۹۲ 2013 (E7)	۱۳۹۳ 2014 (E8)	میانگین Mean
1	G1	L3 (Hacheston×L16)	3603	2177	1643	2691	2239	1922	1195	1535	2126
2	G2	L9 (Hacheston×L16)	3786	2109	2031	2836	2233	2180	1661	1840	2334
3	G3	L8 (Hacheston×L16)	4086	1990	2482	3069	2540	2117	1079	1302	2333
4	G4	L2 (Liana×L32)	5000	2490	2172	2914	2193	1908	1632	2015	2540
5	G5	L13 (Hacheston×L16)	4511	2880	2242	2925	1771	2481	1637	2115	2570
6	G6	L16 Hacheston×L16)	4844	2822	2099	2839	2224	2010	1571	2121	2566
7	G7	L17 (Hacheston×L16)	4571	3363	1745	2627	2266	2198	1644	2167	2573
8	G8	L3 (Liana×L32)	4254	2560	2969	3361	2516	1960	1213	2074	2613
9	G9	L2 (Kotaman×Kitamishiro)	3513	2821	1862	2728	2327	3172	1012	1820	2407
10	G10	L3 (Stressland × NMSB)	4417	2740	1396	2574	2536	2539	1525	2359	2510
11	G11	L5 (Stressland × NMSB)	4374	2302	2096	2838	1761	2525	1415	1835	2393
12	G12	L6 (Stressland × NMSB)	4599	2278	1947	2733	1590	2570	1329	1730	2347
13	G13	L8 (Stressland × NMSB)	3948	2780	1805	2788	2560	2137	1323	2320	2457
14	G14	L1 (Spry ×Nemaha)	4047	2640	1844	2780	2228	2370	992	2105	2376
15	G15	L13 (Chaleston×Mostang)	3981	2531	1776	2802	2586	2588	1217	2360	2480
16	G16	L12 (Chaleston×Mostang)	4225	3483	2255	2933	2349	2457	1725	2575	2750
17	G17	L85-3059 (Aline)	4190	3045	2664	3178	2375	2080	1332	2753	2702
18	G18	LS (M50 × Williams)	4161	3036	2151	2996	2403	2657	1103	1785	2536
19	G19	LS (Columbus × Williams)	3912	2407	1794	2688	1617	2328	938	1580	2158
20	G20	Williams (Check)	3891	2626	1940	2994	2037	2332	1426	1555	2350
Mean	میانگین		4196	2654	2046	2865	2217	2488	1348	1997	2456

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

کیلوگرم در هکتار مربوط به ژنوتیپ G10 بود. در محیط E5 بیشترین عملکرد دانه به ژنوتیپ G15 با ۲۵۸۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه با ۱۵۹۰ کیلوگرم در هکتار به ژنوتیپ G12 اختصاص یافت. در محیط E6 بیشترین عملکرد دانه به ژنوتیپ G9 با ۳۱۷۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه با ۱۹۰۸ کیلوگرم در هکتار به ژنوتیپ G4 اختصاص یافت. در محیط E7 بیشترین عملکرد دانه به ژنوتیپ G16 با ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه به میزان ۹۳۸ کیلوگرم در هکتار به ژنوتیپ G19 اختصاص یافت. در محیط E8 بیشترین عملکرد دانه با ۲۷۵۳ کیلوگرم در هکتار به ژنوتیپ G17 و کمترین عملکرد دانه با ۱۳۰۲ کیلوگرم در هکتار به ژنوتیپ G3 اختصاص یافت. بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G16 (۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) و G17 (۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ G1 (۲۱۲۶ کیلوگرم در هکتار) بود. در شکل یک نمای هشت ضلعی پراکنش ژنوتیپ‌های سویا بر اساس دو محور مختصات محیطی و عملکردی نشان داده شده است. در این چند ضلعی هشت ژنوتیپ G3، G8، G17، G16، G10، G9 و G1 در رئوس چندضلعی واقع شده و بیشترین فاصله را تا مرکز چند ضلعی داشتند. این ژنوتیپ‌ها از بردارهای طویلی در جهت‌های مختلف برخوردارند که معیاری از میزان پاسخ به محیط بوده و در زمره ارقام واکنش‌پذیر به محیط هستند. در این نمودار یک خط عمود بر هر ضلع چند ضلعی کشیده شده که هشت ضلعی را به هشت بخش تقسیم نموده و هر بخش با نام ژنوتیپ راس خود نامیده می‌شود. بر این اساس ژنوتیپ G16 واقع در یکی از رئوس چند ضلعی به‌عنوان بهترین ژنوتیپ در محیط‌های E2، E5 و E8، ژنوتیپ G17 در یکی دیگر از رئوس چندضلعی به‌عنوان بهترین ژنوتیپ در محیط‌های E1 و E7، ژنوتیپ G9 واقع در راس دیگر چند ضلعی در محیط E6 و ژنوتیپ G8 در یکی دیگر از رئوس

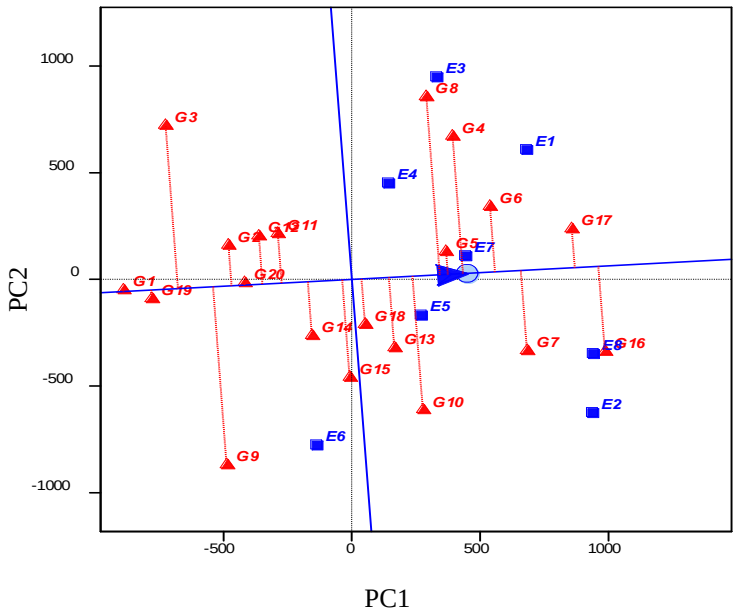


شکل ۱- چندضلعی GGE بای‌پلات بر اساس عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش سویا در چهار محیط آزمایشی ۵۸ درصد از واریانس G+GE توسط مولفه‌های PC1 (۳۵ درصد) و PC2 (۲۳ درصد) توجیه شد

Fig. 1. GGE biplot polygon based on the performance of soybean purelines in four experimental environments 58% of GGE variance was explained by PC1 (35%) and PC2 (23%) components

چندضلعی در محیط‌های E3 و E4 به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. ژنوتیپ‌های G1 و G3 نیز در رئوس دیگر چند ضلعی واقع شده‌اند، اما از آنجا که هیچ محیطی در بخش‌ها مربوط به این ژنوتیپ‌ها قرار نگرفته است، عملکرد قابل قبولی در هیچ یک از محیط‌های آزمایشی نداشتند (شکل ۱) و بالاخره ژنوتیپ‌های G18، G14، G15، G5، G12، G20، G2، G11 و G13 که تقریباً در مرکز چند ضلعی واقع شده‌اند در زمره ارقام واکنش‌ناپذیر به محیط بوده با داشتن عملکرد متوسط در اغلب محیط‌ها واکنش نسبتا مشابهی در کلیه محیط‌ها داشتند (شکل ۱). بهارتیا و همکاران (Bhartiya *et al.*, 2017) و راموس و همکاران (Ramos *et al.*, 2017) گزارش کردند که در تجزیه GGE بای‌پلات ژنوتیپ‌های سویا در هشت بخش و در هر بخش ژنوتیپ‌های برتر در رئوس هشت ضلعی قرار گرفتند.

در شکل دو بای‌پلات بررسی همزمان عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها ارائه شده است. در این شکل محور افقی پیکان‌دار که از میانگین محیطی (دایره کوچک) و مبداء مختصات می‌گذرد، محور مختصات محیط متوسط (AEC) نامیده شده و تصویر ژنوتیپ‌ها روی این محور تقریبی از عملکرد ژنوتیپ (G) است. محور عمودی نشان دهنده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GEI) بوده و پایداری رقم را نشان می‌دهد. هر اندازه تصویر ژنوتیپ روی این محور طویل‌تر باشد، ناپایداری آن بیشتر بوده و برعکس. یان (Yan, 2000) در ارزیابی ۳۳ ژنوتیپ گندم زمستانه در هشت محیط گزارش دادند که تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور مختصات محیط متوسط (AEC) برآورد مناسبی از عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در آزمایش ایشان همبستگی بین عملکرد واقعی و برآورد آن از طریق بای‌پلات ۰/۹۸ اعلام شد. بر اساس شکل دو بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G16 و G17 و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G1 و G19 بود. در بین دو ژنوتیپی که عملکرد بالایی داشتند، ژنوتیپ G17 با داشتن طول تصویر کوتاه‌تر از پایداری بیشت

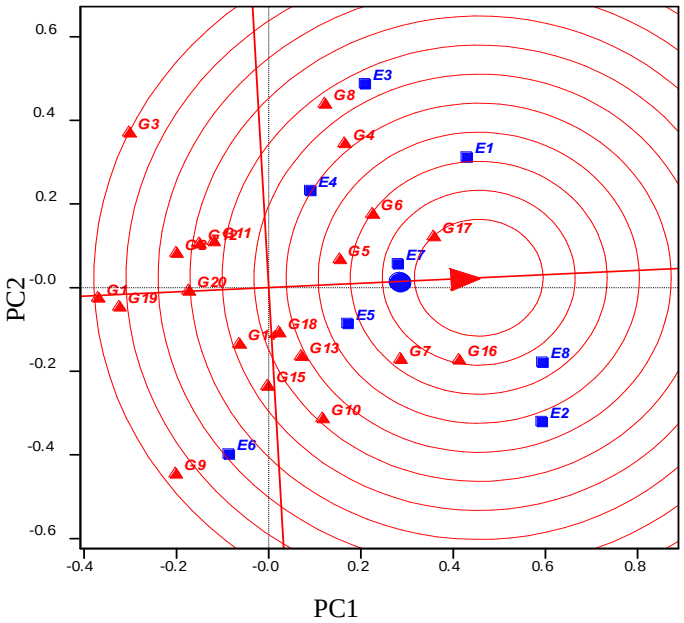


شکل ۲- مقایسه و رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش سویا بر اساس عملکرد دانه و پایداری در بای‌پلات مختصات محیط متوسط (AEC)

Fig. 2. Comparison and ranking of soybean purelines based on seed yield and stability in average environment coordinate biplot (AEC)

ری برخوردار بود (شکل ۲). ژنوتیپ‌های G6 و G5 نیز با داشتن عملکرد بیش از میانگین کل و پایداری بالا در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در این آزمایش ژنوتیپ‌های G1، G2، G14، G11، G12، G19 و G20 پایداری خوبی داشتند، اما عملکرد آنها کمتر از میانگین محیطی بود. ژنوتیپ‌های G8، G10، G4، G3 و G9 جزء ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های G3 و G9 علاوه بر ناپایداری عملکرد دانه پائینی نیز داشتند (شکل ۲). آکمل و همکاران (Akmal *et al.*, 2014) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های برخوردار از بالاترین عملکردها لزوماً پایدارترین ژنوتیپ‌ها نخواهند بود و ژنوتیپ‌های با عملکرد پائین ممکن است از پایداری بالایی برخوردار باشند.

در شکل سه نمودار بای‌پلات ژنوتیپ مطلوب ارائه شده است. مقایسه ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی با ژنوتیپ مطلوب نشان داد که لاین G17 با عملکرد ۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار و پس از آن لاین G16 با عملکرد ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار، کوتاه‌ترین فاصله را با ژنوتیپ مطلوب داشته و بنابراین دارای بیشترین مطلوبیت بودند. مقایسه نمودارهای ۲ با ۳ نشان دهنده شباهت نتایج حاصل است. بنا بر نظر کانگ (Kang, 1993) و یان (Yan, 1999) پایداری به‌تنهایی فاقد ارزش و اعتبار بوده و فقط به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کننده عملکرد حائز اهمیت است. یک نتیجه منطقی از مفهوم GGE این است که معیار تعیین شده بوسیله GEI فقط هنگامی مفید است که همراه با میانگین عملکرد ژنوتیپ (G) در نظر گرفته شود. پایداری یک مضرب بدون بعد است که رقم دارای عملکرد بالا را برتر و رقم با عملکرد پایین را بدتر نشان می‌دهد (Yan *et al.*, 2003). بر اساس برخی از گزارش‌ها، پایداری از وراثت‌پذیری کمتری نسبت به میانگین عملکرد برخوردار است (Eskridge, 1996). در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های G7

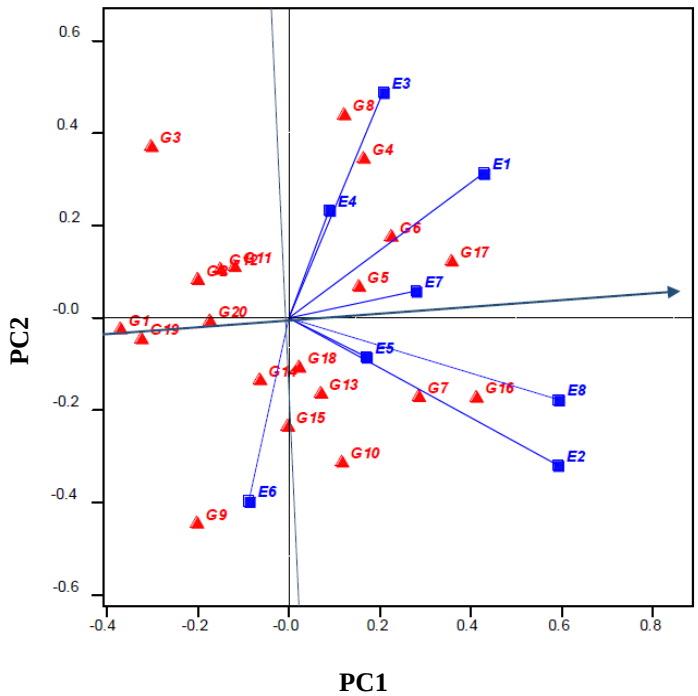


شکل ۳- مقایسه و رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش سویا بر اساس عملکرد دانه و پایداری در نمای بای‌پلات ژنوتیپ مطلوب و محیط مطلوب

Fig. 3. Comparison and ranking of soybean purelines based on seed yield and stability in the ideal genotype and ideal environment biplot veiw

و G6 از حیث مطلوبیت در جایگاه سوم و چهارم قرار گرفتند و سایر ژنوتیپ‌ها (به‌ترتیب G5، G4، G13، G18، G10، G15، G14،.... وG3) از مطلوبیت کمتری برخوردار بودند (شکل ۳). کانگ (Kang, 1993) گزارش کرده است که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد و پایداری که بوسیله فاصله ژنوتیپ‌ها از رقم مطلوب در بای‌پلات تعیین می‌شود، همبستگی بالایی (۹۷ درصد) با رتبه‌بندی حاصل از آماره پایداری عملکرد (Ysi) دارد.

در شکل یک تشکیل دو محیط کلان نشان داده شده است. بطورکلی دو معیار برای تشکیل محیط‌های کلان پیشنهاد شده است. اول اینکه در محیط‌های مختلف آزمایشی، ارقام برتر شناسایی شوند و دوم اینکه تنوع بین گروهی باید بطور معنی‌داری بیش از تنوع درون‌گروهی باشد (Yan and Kang, 2003). این دو شرط معیارهای عمومی برای خوشه‌بندی محیط‌ها خواهند بود. تعیین محیط‌های کلان از این جهت حائز اهمیت است که عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مربوط به یک محیط کلان بطور مشابهی قابل تکرار است (Crossa *et al.*, 2002). در روش نموداری GGE بای‌پلات محیط‌های کلان باید شامل گروه‌هایی از محیط آزمون باشند که ظاهراً در یک بای‌پلات از هم جدا شده‌اند. در این پژوهش دو معیار فوق محقق شد و سه محیط کلان مشخص شدند که نتایج آن در شکل یک ارائه شده است. اولین محیط کلان شامل محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۳)، E5 (مغان ۱۳۹۲) و E8 (گرگان ۱۳۹۳) بود و لاین G16 به‌عنوان برترین ژنوتیپ این محیط (کلان) در راس چندضلعی قرار گرفت. دومین محیط کلان شامل محیط‌های E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) بود و لاین G8 برترین ژنوتیپ این محیط (کلان) بود و سومین محیط کلان شامل محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۲) و E7 (گرگان ۱۳۹۲) بود و لاین G17 برترین ژنوتیپ این محیط (کلان) بود (شکل ۱).



شکل ۴- روابط متقابل بین محیط‌های آزمایشی در نمای برداری GGE بای‌پلات

Fig. 4. Interactions between experimental environments in the GGE Biplot veiw

در شکل چهار بای‌پلات همبستگی محیطی نشان داده شده است. 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. بر اساس شکل چهار محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۲) و E7 (گرگان ۱۳۹۲) با یکدیگر و محیط‌های E2 (کرج ۱۳۹۳)، E5 (مغان ۱۳۹۲) و E8 (گرگان ۱۳۹۳) با یکدیگر همبستگی مثبت بالایی داشتند. دو محیط E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) نیز همبستگی مثبت و بالایی داشتند که با نمودار محیط‌های کلان در شکل یک نیز مشابهت داشت. دو محیط E3 و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۲ و دوم) در یک محیط کلان قرار گرفتند. از آنجا که نتایج ۱۳۹۲ و دوم خرم‌آباد مشابه بود، می‌توان با هدف کاهش هزینه‌ها به انجام آزمایش یکساله اکتفا نمود.

در همین ارتباط یان و رجکان (Yan and Rajcan, 2002) با ارزیابی سازگاری ژنوتیپ‌های سویا طی چند سال در چهار منطقه در کانادا گزارش نمودند که یکی از مناطق دارای همبستگی بالایی با سایر مناطق بود، بنابراین اعلام کردند که با حذف این منطقه از آزمایشات، ضمن کاهش هزینه کارایی اصلاحی افزایش خواهد یافت. بر اساس نظرات ون ایوویج و ایلگرسما (Van Euwijk and Elgersma, 1993) و ماکیندە و آریو (Makinde and Ariyo, 2011)، واکنش مشابه ژنوتیپ‌ها در یک سال و تفاوت آنها طی سال‌های مختلف نشان دهنده این است که اطلاعات هواشناسی و اقلیمی می‌تواند در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ × سال مفید باشد. یان و کانگ (Yan and Kang, 2003) گزارش دادند که زاویه هر بردار محیطی با محور مختصات محیط متوسط، معیاری برای تعیین میزان نمایندگی آن محیط است. در این آزمایش زاویه بردار محیط E7 (گرگان ۱۳۹۲) با محور مختصات محیط متوسط (دایره کوچک) کمتر از زاویه برداری محیط‌های دیگر با محور مختصات محیط متوسط بود، به عبارت دیگر این محیط همبستگی مثبت بالایی با محیط متوسط داشت و نسبت به سایر محیط‌ها قابلیت نمایندگی بیشتری از مناطق هدف داشت (شکل ۴). در این تحقیق همبستگی محیط E1 (کرج ۱۳۹۲) با E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) مثبت اما کوچک بود. همچنین محیط E7 (گرگان ۱۳۹۲) با محیط‌های E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) همبستگی مثبت ولی جزئی داشتند. همبستگی محیط E6 (مغان ۱۳۹۳) نیز با E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) در حدود ۱- بود. یان و تینکر (Yan and Tinker, 2006) گزارش دادند که زاویه کوچک‌تر بین دو بردار محیطی نشان دهنده همبستگی بالای دو محیط و زاویه بزرگ‌تر نشان دهنده همبستگی ضعیف بین دو محیط است. در این آزمایش مشخص شد که طول بردار محیط‌های E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲)، E2 (کرج ۱۳۹۳)، E8 (گرگان ۱۳۹۳) و E1 (کرج ۱۳۹۲) بلندتر از سایر محیط‌ها بود و بنابراین قابلیت تمایز بیشتری داشته و از توانایی بالاتری در تشخیص ژنوتیپ‌های برتر برخوردار بودند، در حالیکه سه محیط E5 (مغان ۱۳۹۲)، E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳) و E7 (گرگان ۱۳۹۲) با داشتن بردارهای کوتاه‌تر، توان تمایز کمتری در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر داشتند (شکل ۴).

در شکل سه علاوه بر ژنوتیپ مطلوب، بای‌پلات محیط مطلوب نیز نشان داده شده است. محیط مطلوب محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز بین ژنوتیپ‌ها و نماینده منطقه هدف باشد و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز قرار گرفته باشد (Yan and Kang, 2003). بر اساس گزارش یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2009) یک محیط مطلوب باید مقدار بالای PC1 (قدرت تشخیص ژنوتیپ برتر) و مقدار صفر PC2 (قابلیت نمایندگی برای کلیه محیط‌ها) را داشته باشد. نتایج مشابهی توسط ژیانگ و همکاران (Zhang *et al*, 2006) و بهارتیوا و همکاران (Bhartiya *et al*, 2017) گزارش شده است. میزان

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

مطلوبیت محیط به فاصله آن از محیط مطلوب بستگی دارد. مقایسه محیط‌های مورد بررسی با محیط مطلوب نشان داد که محیط E7 (گرگان ۱۳۹۲) نزدیک‌ترین محیط به محیط مطلوب بوده و موثرترین محیط از حیث تمایز و نمایندگی است. پس از این محیط به‌ترتیب محیط‌های E1 (کرج ۱۳۹۲) و E8 (گرگان ۱۳۹۳) دارای کمترین فاصله با محیط مطلوب بوده و دارای بیشترین شایستگی بودند. سایر محیط‌ها به ترتیب E5 (مغان ۱۳۹۲)، E2 (کرج ۱۳۹۳)، E4 (خرم‌آباد ۱۳۹۳)، E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲) و E6 (مغان ۱۳۹۳) از مطلوبیت کمتری برخوردار بوده و در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بر اساس شکل ۳، محیط‌های E7 (گرگان ۱۳۹۲) و E5 (مغان ۱۳۹۲) بدلیل قرار گرفتن در مجاورت محور محیط متوسط (دایره کوچک) نمونه‌های خوبی از منطقه هدف بشمار می‌روند. محیط‌های E3 (خرم‌آباد ۱۳۹۲)، E6 (مغان ۱۳۹۳) و E2 (کرج ۱۳۹۳) گرچه از قدرت تمایز بالایی برخوردار بودند (شکل ۴)، اما به دلیل قرارگرفتن در فاصله دورتر از محور مختصات محیط متوسط (AEC)، نماینده خوبی از محیط هدف به حساب نمی‌آیند، با این وجود می‌توان برای حذف ژنوتیپ‌های نامطلوب، از این محیط‌ها استفاده کرد. چنین محیط‌های متمایزکننده‌ای که فاقد قابلیت نمایندگی هستند، به‌عنوان محیط‌های کشنده یا حذف‌کننده نیز تلقی می‌شوند (Yan *et al.*, 2003). با چنین تعریفی می‌توان ژنوتیپ ناپایدار G9 را بر اساس عملکرد دانه آن در محیط E3 و ژنوتیپ‌های G4 و G8 را بر اساس عملکرد دانه آنها در محیط E6 حذف نمود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ژنوتیپ‌های سویای مورد ارزیابی به دلیل زمینه ژنتیکی غیر مشابه سازگاری‌های متفاوتی در محیط‌های آزمایشی نشان دادند، اما بطورکلی لاین G17 (L85-3059) با ۲۷۰۲ کیلوگرم در هکتار و لاین G16 (L12/Chaleston × Mostang) با ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار، به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و پایداری شناخته شدند. نتایج تجزیه بای‌پلات نیز نشان داد که محیط E7 (گرگان ۱۳۹۲) شایسته‌ترین محیط از نظر قدرت تمایز و نمایندگی منطقه هدف بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از موسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر، بویژه بخش تحقیقات دانه‌های روغنی که امکان انجام آزمایشات را فراهم نمودند، کمال تشکر را داریم. همچنین از کلیه همکاران محترم بخش دانه‌های روغنی موسسه بویژه آقایان اوجانی و نواب و همکاران گرامی مراکز و ایستگاه‌های تحقیقاتی گرگان، مغان و خرم‌آباد بخاطر تلاش مستمر در اجرای دقیق آزمایشات تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Akmal, C. M. Gunarsih and M. Y. Samaullah. 2014. Adaptation and stability of aromatic rice lines in North Sumatera (in Indonesian). Food Crop Res. J. 33 (1): 9-16

Alake, C. O. and O. J. Ariyo. 2012. Comparative analysis of genotype × environment interaction techniques in West African okra. J. Agric. Sci. 4(4): 135-150.

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. Afr. Crop Sci. J. 21 (1): 67-73.

Atnaf, M., S. Kidane, S. Abadi and Z. Fisha. 2013. GGE biplots to analyse soybean multi-environment yield trial data in north Western Ethiopia. J. Plant Breed. Crop Sci. 5: 245-254.

Babaei, H. R., M. Bagheri and N. Razmi. 2016. Study on adaptability of new soybean pure lines. Registered Final Report of Research Project (Registeration number: 55194 – 5.3.2019). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). (In Persian with English abstract).

Basford, K. E. and M. Cooper. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. Aust. J. Agric. Res. 49: 154–175.

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 Res. J. 40 (2): 306-312.

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

Crossa, J., P. L. Cornelius and W. Yan. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype × environment interaction. Crop Sci. 42 (2): 619- 633.

Eberhart, S. A. And W. A. Russel.1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36-40.

Eskridge, K. M. 1996. Analysis of multi environment trial using the probability of outperforming a check. p. 273 -307. *In:* M. S. Kang and Guach, J., (Eds.) Genotype by Environment Interaction. CRC Press.

Finlay, K. W. and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Aust. J. Agric. Res. 14: 742 –754.

Jandong E. A., M. I. Uguru and B. C. Oyiga. 2011. Determination of yield stability of seven soybean (*Glycine max*) genotypes across diverse soil pH levels using GGE biplot analysis. J. Appl. Bio. Sci. 43: 2924- 2941.

Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance Trials. Consequences for growers. Agron. J. 85: 754 -757.

Karakus, M. and U. A. Yildirim. 2019. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in soybean grown as a second crop. Turk. J. Field Crops. 24(2): 145-154.

Kocaturk, M, P. Cubuku, A. T. Goksoy, M. Sincik, E. Ilke, A. Kadiroglu, Y. Vurarak, Y. Sahin, M.

Mohammadi, R., M. Armion, H. Esmaeilzadeh, M. Eskandari. 2013. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. Iran. J. Dryland Agric. J. 4 (1): 1-16 (in Persian with English abstract).

Makinde S.C. O. and O. J. Ariyo. 2011. Analysis of genotype× environment interaction of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Malaysian J. Appl. Biol. 40 (2): 19-26.

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, Hertfordshire HP1 1ES, UK.

Pourdad, S. S. and M. Jamshid-Mogaddam .2013. Study on genotype × environment interaction through GGE Biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rainfed condition. J. Crop Breed. 12(5): 1- 14 (in Persian with English abstract).

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. Genet. Mol. Res. 16(3): 1-10.

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

Van Euwijk F. A., A. Elgersma. 1993. Incorporating environmental information in an analysis of G × E interaction for seed yield in perennial ryegrass. Heredity, 70: 447-457.

Yan, W. 1999. The interconnectedness among the traits of wheat and its implication in breeding for higher yield. Cereal Crops. (1): 43 - 45.

Yan, W. 2000. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi– environment trial data. Agron. J. 94: 990 - 996.

Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sci. 42: 11-20.

Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press.

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 Sci. 47: 643 - 655.

Yang, R., J. Crossa, P. L. Cornelius and J. Burgueno. 2009. Biplot analysis of GEI effect. Crop Sci. 49: 1564-1576.

Yan, W. and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86: 623-645.

Zhang, M., M. S. Kang, P. F. Reese Jr and H. L. Bhardwaj. 2006. Soybean cultivar evaluation via GGE biplot analysis. J. New Seeds. 7 (4): 37-50.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.5.4]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.183]

Evaluation of adaptability and seed yield stability of soybean (*Glycine max* L. Merril) promising lines using GGE biplot analysis

Babaei, H. R.[1], N. Razmi[2], S. Raeisi[3] and H. Sabzi[4]

ABSTRACT

Babaei, H. R., N. Razmi, S. Raeisi and H. Sabzi. 2020. Evaluation of adaptability and seed yield stability of soybean (*Glycine max* L. Merril) promising lines using GGE biplot analysis**. Iranian Journal of Crop Sciences. 22(2): 183-197. (In Persian).**

Selection of adapted genotypes with high seed yield and yield stability is the goal of soybean breeding programs. To evaluate the adaptability and seed yield stability of soybean promising lines, 19 promising lines and cv. Williams as check were evaluated using randomized complete block design with four replications in four locations: Karaj, Gorgan, Moghan and Khoramabad in Iran during two growing seasons (2013 and 2014). GGE biplot analysis was employed to evaluate the adaptability and seed yield stability. Combined analysis of variance showed thatyear, location, genotype, year × location, year × genotype, location × genotype and genotype × location × year interaction effects were significant on studied traits. The contribution of year, location and genotype variance to total variance was 0.01, 0.60 and 0.02, respectively, indicating considerable contribution of location variance. The first two components of PC1 and PC2 explained overall 58% of total observed variation of genotype and genotype × environment (G + GE). In this study, three mega-environments were identified. The first mega-environment included: E2 (Karaj 2014), E5 (Moghan 2013) and E8 (Gorgan 2014) and G16 was the superior genotype in this mega-environment. The second mega-environment included: E3 (Khorramabad 2013) and E4 (Khorramabad 2014) and G8 was the superior genotype in this mega-environment. Third mega-environment consisted: E1 (Karaj 2013) and E7 (Gorgan 2013) and G17 was the superior genotype in this mega-environment. Biplot analysis showed that genotypes: G17 (L85-3059) with 2702 kg.ha^{-1} and G16 (L12/Chaleston × Mustang) with 2750 kg.ha^{-1} were highly adapted genotypes with high seed yield and yield stability. The E7 environment (Gorgan, 2013) was the most desirable environment in respect to its discriminating ability among soybean genotypes and the best representative of the target environments.

Key words: Desirable environment, Desirable genotype, GGE biplot analysis and Genotype × environment interaction.

Received: August, 2019 Accepted: July, 2020

1. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran (Corresponding author)
(Email: 30241hrbabaei@gmail.com)
2. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Sciences Research Department of Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Ardabil (Parsabad Moghan), AREEO, Parsabad Moghan, Iran
3. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Sciences Research DepartmentAgricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, , Gorgan, Iran
4. Researcher. Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Lorestan, AREEO, Khoramabad, Iran