دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر و تجزیه گرافیگی بای‌پلات جهت مطالعه تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ

سعید عمرانی[۱]، علی عمرانی[۲]، مهوش افشاری[۳]، علی صارمی‌راد[۴]، سیاوش برده‌جی[۳] و پیمان فروزش[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (نویسنده مسوول: s.omrani70@gmail.com)
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد (مغان)، ایران
۳- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۴ و ۵- دانشجوی دکتری و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
تاریخ دریافت ۹۷/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش ۹۸/۸/۹
صفحه: ۱۵۳ تا ۱۶۳

چکیده

تعداد ۲۵ ژنوتیپ گلرنگ به همراه یک رقم شاهد (کوسه) با هدف بررسی تأثیر محیط‌های مختلف بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه مکان (تهران، بیرجند و اصفهان) طی سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مدل امی نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و نیز اثر برهمکنش ژنوتیپ با محیط بسیار معنی‌دار است. چهار مؤلفه اصلی اول در مجموع حدود ۸۳ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را توجیه نمودند و سهم هر مؤلفه به ترتیب حدود ۴۰، ۱۹، ۱۳ و ۹ درصد بود. بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی و میانگین عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها مشخص نمود که ژنوتیپ‌های Hartman و LRV-55-295 با دارا بودن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، به‌عنوان ارقام دارای پایداری عملکرد دانه مطلوب شناسایی شدند. بای‌پلات مربوط به دو مؤلفه اصلی اول اثر برهمکنش مشخص نمود که ژنوتیپ‌های کوسه، Hartman و PI-250537 از سازگاری عمومی بالایی برخوردار هستند. بر اساس نتایج تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات دو مؤلفه اصلی مدل رگرسیون مکانی، ۹۶ درصد از تغییرات داده‌های مربوط به عملکرد دانه را تبیین نمودند. بای‌پلات روابط میان محیط‌ها مؤید وجود عکس‌العمل تقریباً یکسان بین ژنوتیپ‌ها در مکان‌های اصفهان و تهران بود اما ژنوتیپ‌ها در مکان بیرجند واکنش متفاوت‌تری نسبت به این دو محیط بروز دادند. طبق بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ A2 در بیرجند و ژنوتیپ Hartman در اصفهان و تهران از سازگاری خصوصی و پایداری عملکرد بالاتری برخوردار بودند. ژنوتیپ Hartman و مکان اصفهان ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ و محیط در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بودند.

واژه‌های کلیدی: AMMI، GGE biplot، ابر محیط، تجزیه پایداری، گلرنگ

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان متعلق به خانواده آستراسه (*Compositae*) می‌باشد و به لحاظ اهمیت و نقشی که در تهیه روغن‌های خوراکی با منشأ گیاهی، ماده خام برای سوخت زیستی و رنگ دارد، مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (۶،۲۷،۳۳،۳۴،۱۹). محتوای روغن دانه این گیاه بین ۲۰ تا ۴۵ درصد متغیر می‌باشد و حاوی مقادیر بالای اسید لینولئیک است که به کاهش سطح کلسترول خون کمک می‌نماید؛ لذا به همین دلیل مدت‌زمان فراوانی به‌عنوان یک گیاه دارویی در بسیاری از کشورها به‌ویژه چین و هند مورد استفاده قرار می‌گرفت (۱۹). در حال حاضر این گیاه در کشورهای هند، ایالت متحده آمریکا، مکزیک، اتیوپی، استرالیا، چین، آرژانتین و روسیه در مقیاس تجاری کشت و تولید می‌گردد (۱۱). در ایران میزان سطح برداشت محصول گلرنگ طبق آخرین آمارنامه که مربوط به سال زراعی ۹۶-۹۵ است برابر با ۱۴۹۰۴ هکتار و میزان تولید آن برابر با ۱۴۸۵۰ تن برآورد گردید (۴)، این در حالی است که در سال زراعی قبل آن (۹۵-۹۴) میزان سطح برداشت گلرنگ نزدیک به ۶۳۷۲ هکتار و تولید آن در حدود ۵۶۰۰ تن بود (۳)، این افزایش سطح برداشت و میزان تولید بیش از ۲ درصدی گلرنگ طی یک سال حاکی از افزایش روزافزون اهمیت این گیاه در جامعه می‌باشد.

طی سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در گوشه و کنار دنیا عمدتاً در راستای بهبود عملکرد دانه و روغن گلرنگ صورت پذیرفته است. تولید و آزادسازی ارقام با عملکرد دانه بالا و پایدار جهت کشت در مناطق مختلف با شرایط آب‌وهوایی متفاوت مهم‌ترین راهکار افزایش تولید محصول است. یکی از مهم‌ترین مسائلی که هنگام اصلاح گیاهان مطرح است، بحث پایداری عملکرد و تأثیری که محیط بر ژنوتیپ گیاه دارد، می‌باشد. گزینش و معرفی ژنوتیپ‌ها تنها بر اساس عملکرد در یک محیط معیار مناسبی نمی‌تواند باشد زیرا عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نخواهد بود، لذا ژنوتیپ‌ها باید حتی‌الامکان در دامنه وسیع و متنوعی از شرایط محیطی

(مکان‌ها و سال‌های مختلف) مورد ارزیابی قرار گیرند تا با اطلاعات حاصل از تخمین میزان سازگاری و پایداری عملکرد آن‌ها، معیار مطمئن‌تری برای معرفی ژنوتیپ‌ها و توسعه کشت آن‌ها در مدت‌زمان کوتاه‌تر به دست آید و کارایی گزینش در روند معرفی ژنوتیپ‌ها افزایش یابد (۹). تأثیری که محیط روی ژنوتیپ‌ها می‌گذارد و سبب تغییر عملکرد نسبی آن‌ها در محیط‌های متفاوت می‌گردد، اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط خوانده می‌شود. بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط با هدف انتخاب ژنوتیپ‌های برتر یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود (۱۴). وجود اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط سبب کاهش بازده روش‌های به‌نژادی می‌گردد و دامنه کشت ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده را در شرایط محیطی مختلف به‌اندازه‌ای باریک می‌کند که محققین را وادار می‌سازد تا برای مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های سازگاری را اصلاح نمایند (۵،۸).

تجزیه پایداری به دلیل این‌که اطلاعات کامل و جامعی را در اختیار قرار می‌دهد، مهم‌ترین و بهترین روشی است که می‌توان به کمک آن ماهیت اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط را تحت مطالعه قرار داد و ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار برای محیط‌های مختلف را مشخص نمود. روش‌های تجزیه پایداری به دو گروه روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. از روش‌های چندمتغیره، مدل امی (AMMI)[1] از اعتبار ویژه‌ای برخوردار است و در حال حاضر در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲،۲۵). این مدل بخش بزرگی از مجموع مربعات اثر برهمکنش را توجیه و اثرات اصلی و متقابل را از یکدیگر تفکیک می‌کند که دلیل اصلی استفاده گسترده از مدل امی است. یکی دیگر از روش‌های چندمتغیره روش بای‌پلات بر مبنای مدل‌های چندمتغیره (GGE biplot)[2] می‌باشد. از کاربردهای مهم این روش تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی است. با استفاده از GGE بای‌پلات محیط‌های تحت بررسی از لحاظ پاسخی که ژنوتیپ‌ها از خود نشان می‌دهند، به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که از نظر شرایط محیطی مشابه و یا نزدیک به هم هستند (۲۱). ویژگی دیگری که روش GGE بای‌پلات را منحصربه‌فرد می‌سازد، شناسایی و اختصاص ارقام با پتانسیل بالا برای هر محیط یا زیرگروه می‌باشد (۱۰).

محققین و پژوهشگران گیاهی با به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره در گیاهان زراعی نظیر گندم نان (۳۱،۲۹،۳۰)، گندم دوروم (۲۳،۲۴)، جو (۱۲،۱۶،۱۸)، برنج (۲۸)، ذرت (۲۰)، آفتابگردان (۱۷)، کلزا (۲۶)، تنباکو (۳۲) و پنبه (۷) نتایج و اطلاعات جامع و فراوانی را به دست آوردند و کمک شایانی به توسعه کشت و افزایش محصول با معرفی ارقام پایدار و سازگار با مناطق مستعد کشت گیاهان نمودند. در ارتباط با تجزیه پایداری گلرنگ در ایران مطالعات محدودی صورت پذیرفته است. واعظی و همکاران (۳۵) از روش‌های مختلف تجزیه پایداری برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار گلرنگ استفاده کردند و در نهایت ژنوتیپ‌های Sina، Cyprus، Bergon، Syrian، CW-4440 و Leasaf را تحت عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا به‌منظور کشت در شرایط دیم گچساران و اقلیم‌های مشابه اعلام نمودند. مقدم و همکاران (۲۲) تعداد ۱۷ رقم و لاین گلرنگ را در سه سال زراعی از لحاظ پایداری مورد مطالعه قراردادند و در نهایت لاین PI.537598 را پایدارترین ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه نامیدند. در مطالعه‌ای دیگر علیزاده و همکاران (۱) با بررسی ۵ رقم و لاین پیشرفته گلرنگ در چهار مکان برای دو سال زراعی، لاین ۳۳۳ را تحت عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی نمودند.

افزایش تقاضای محصولات کشاورزی به‌ویژه روغن‌های خوراکی با منشأ گیاهی با توجه به نقش بسیار مهمی که در تغذیه جمعیت رو به رشد ایفا می‌نماید، یک امر اجتناب‌ناپذیر است. در این میان علاوه بر ژنوتیپ گیاه، شرایط محیطی و اثر برهمکنش میان ژنوتیپ و محیط نیز نقش بسزایی را در پایداری عملکرد گیاهان دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار گلرنگ از لحاظ عملکرد دانه و نیز گزینش ژنوتیپ‌های برتر سازگار با مناطق تحت مطالعه پایه‌ریزی و انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی تحت مطالعه شامل ۲۵ رقم گلرنگ به همراه رقم شاهد کوسه بود که اسامی و منشأ آن‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه مکان تهران، بیرجند و اصفهان طی سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) به مرحله اجرا درآمد. مشخصات جغرافیایی مکان‌های تحقیقاتی در جدول ۲ آورده شده است. هر بلوک آزمایشی شامل ۲۶ کرت و هر کرت شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بر اساس آزمون خاک میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هر هکتار به‌طور یکنواخت در زمان کشت به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید. میزان بذر هر ژنوتیپ بر اساس تراکم ۵۰ بوته در مترمربع منظور شد. جهت مبارزه با آفات کرم غوزه خوار، سرخوطومی و مگس گلرنگ، از سموم دیازینون و متاسیستوکس به نسبت دو در هزار استفاده شد. در طول مرحله داشت به‌صورت دستی و شیمیایی نسبت به حذف علف‌های هرز اقدام شد. در پایان فصل دانه ژنوتیپ‌ها به‌صورت دستی برداشت و عملکرد دانه به تن در هکتار تعمیم داده شد.

پس از تعیین عملکرد دانه، ابتدا آزمون بارتلت با هدف بررسی همگنی خطا در آزمایش‌های مختلف انجام گردید سپس با توجه به معنی‌دار شدن اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط، برای تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های چند متغیره امی و GGE بای‌پلات استفاده شد.

از نرم‌افزار SAS بر اساس رابطه زیر به‌منظور تجزیه پایداری به روش امی استفاده شد:

$$Yger= \mu+\alpha g+\beta e+ \Sigma n\ \lambda n\ \alpha gn\ \gamma en+ \rho ge+ \varepsilon ge$$

1- Additive Main Effects and Multiplicative Interaction

2- Genotype Main Effect plus Genotype- Environment Interaction (GGE) biplot

در این رابطه، Yger عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام، μ میانگین کل آزمایش، αg و βe به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λn مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی nام، αgn بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، γen بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρge مقدار نویز و εge مربوط به خطا می‌باشد. مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط در حین انجام تجزیه امی استخراج و با رسم بای‌پلات‌های آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تحت بررسی قرار گرفت.

یکی از پارامترهای مدل امی، پارامتر نوظهور ASV (AMMI Stability Value) است که با عنوان ارزش پایداری امی شناخته می‌شود که برای محاسبه آن از نرم‌افزار Excel طبق رابطه زیر استفاده گردید:

$$ASVi=\sqrt{[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2}(IPCA_{1scrore})]2 + (IPCA2scroe)2}$$

در رابطه فوق SSIPCA1 و SSIPCA2 به ترتیب مربوط به مجموع مربعات اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهمکنش، IPCA1 و IPCA2 به ترتیب مربوط به مقدار مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

تجزیه گرافیکی به روش GGE biplot بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه زیر انجام شد:

$$Yij -\mu -\beta j =\lambda 1\ \xi i1\ \eta j1 +\lambda 2\ \xi i2\ \eta j2 +\varepsilon ij$$

در این رابطه Yij میانگین ژنوتیپ iام در محیط jام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، βj اثر اصلی محیط jام، λ1 و λ مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξi1 و ξi2 بردارهای ویژه ژنوتیپی و ηj1 و ηj2 بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و εij مقدار باقیمانده برای ژنوتیپiام در محیط jام هستند.

جهت تجزیه داده‌های آزمایش به روش GGE بای‌پلات از نرم‌افزار GGE biplot بر مبنای چهار الگوی: ۱- بررسی روابط میان محیط‌ها، ۲- تعیین بهترین رقم در هر مکان، ۳- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و ۴- رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل استفاده شد.

جدول ۱- نام و منشأ ارقام گلرنگ تحت مطالعه

Table 1. The name and origins of studied safflower cultivar

کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	منشأ	نوع ژرم پلاسم	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	منشأ	نوع ژرم پلاسم
G1	CH-5	آمریکا	لاین	G14	Hartman	آمریکا	رقم
G2	CW-74	آمریکا	لاین	G15	C111	ایران	لاین
G3	PI-250190	پاکستان	لاین	G16	S149	ایران	لاین
G4	PI-506426	چین	لاین	G17	Zarghan279	ایران	رقم بومی
G5	22-191	مکزیک	لاین	G18	M420	ایران	لاین
G6	A2	ایران	لاین	G19	CW-4440	آمریکا	لاین
G7	Gila	آمریکا	رقم	G20	PI-253384	فلسطین	لاین
G8	E2417	ایران	لاین	G21	E2428	ایران	لاین
G9	C121	ایران	لاین	G22	LRV-51-51	ایران	لاین
G10	Syrian	سوریه	رقم بومی	G23	PI-258417	پرتغال	لاین
G11	LRV-55-295	ایران	لاین	G24	PI-250537	مصر	لاین
G12	Kino-76	مکزیک	لاین	G25	301055	ترکیه	لاین
G13	62918	آلمان	لاین	G26	کوسه	ایران	رقم بومی

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مکان‌های آزمایشی

Table 2. Geographical characteristics of the experimental locations

مکان	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اصفهان	1571	51°43'E	32°39'N
بیرجند	1470	59°13'E	32°53'N
تهران	1368	51°30'E	35°44'N

نتایج و بحث

تجزیه امی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس امی در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس، آثار اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. وجود اختلاف معنی‌دار بین محیط‌ها نشان‌دهنده این امر است که مکان‌های مورد مطالعه برای کشت ژنوتیپ‌های گلرنگ از لحاظ شرایط محیطی اختلاف داشتند. معنی‌داری اثر ژنوتیپ مبین پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌های تحت مطالعه بود. از F تست گالوب (۱۳) برای تعیین تعداد مؤلفه‌های مؤثر استفاده شد و در مجموع، چهار مؤلفه اصلی معنی‌دار حاصل شد و بقیه مؤلفه‌های اصلی اثر برهمکنش غیر معنی‌دار، به‌عنوان باقیمانده لحاظ گردید. چهار مؤلفه اصلی مجموعاً حدود ۸۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین کردند که سهم هر یک به ترتیب برابر ۴۰/۱۸، ۱۹/۳۵، ۱۳/۴۷ و ۹/۳۳ درصد بود.

نتایج آماره ارزش پایداری امی (ASV) در جدول ۴ ارائه شده است. طبق این آماره ژنوتیپی پایدار است که دارای ASV کمتری باشد. با توجه به این نکته ژنوتیپ‌های کوسه، Zarghan279 و Hartman کمترین ASV را به خود اختصاص دادند اما در این میان ژنوتیپ‌های کوسه و Hartman با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا شناخته شدند. همچنین ژنوتیپ Syrian با داشتن بالاترین ASV، ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. محیط اصفهان با داشتن پایین‌ترین ASV به‌عنوان پایدارترین محیط و بیرجند با داشتن بالاترین ASV به‌عنوان ناپایدارترین محیط در این مطالعه شناخته شدند (جدول ۵). کریمی‌زاده و همکاران (۱۵) در بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط با استفاده از روش امی برای ۹ ژنوتیپ ذرت زودرس جدید به همراه هیبرید سینگل کراس ۳۰۱ از چهار پارامتر SIPC4، AMGE4، ASV و EV4 استفاده کردند و در نهایت اذعان نمودند که در بین پارامترهای مدل امی نتایج حاصل از پارامتر ASV از دقت و صحت بالایی برخوردار است.

جدول ۳- تجزیه واریانس امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ (سه مکان×سه سال)

Table 3. Analysis of variance of AMMI model for grain yield of safflower genotypes (3 locations × 3 years)

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده (٪)
بلوک	۲	۰/۱۲۵	۰/۰۶۲*	۰/۳۲
محیط	۸	۲/۱۱۰	۰/۲۶۳**	۵/۵۳
ژنوتیپ	۲۵	۲۲/۶۲	۰/۹۰۵**	۵۹/۴۰
ژنوتیپ×محیط	۲۰۰	۶/۴۵	۰/۰۳۲**	۱۶/۹۴
IPCA1	۳۲	۲/۵۹۳	۰/۰۸۱**	۴۰/۱۹
IPCA2	۳۰	۱/۲۴۹	۰/۰۴۱**	۱۹/۳۵
IPCA3	۲۸	۰/۸۶۹	۰/۰۳۱**	۱۳/۴۷
IPCA4	۲۶	۰/۶۰۲	۰/۰۲۳**	۹/۳۳
باقیمانده (نویز)	۸۴	۱/۱۳۸	۰/۰۵۱ ^{ns}	۱۷/۶۵
خطا	۴۶۶	۶/۷۷۴	۰/۰۱۴	۱۷/۷۸
ضریب تغییرات (%CV)			۹/۹۳	

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه و مقادیر مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های موردبررسی

Table 4. Mean grain yield and principle component of safflower genotypes

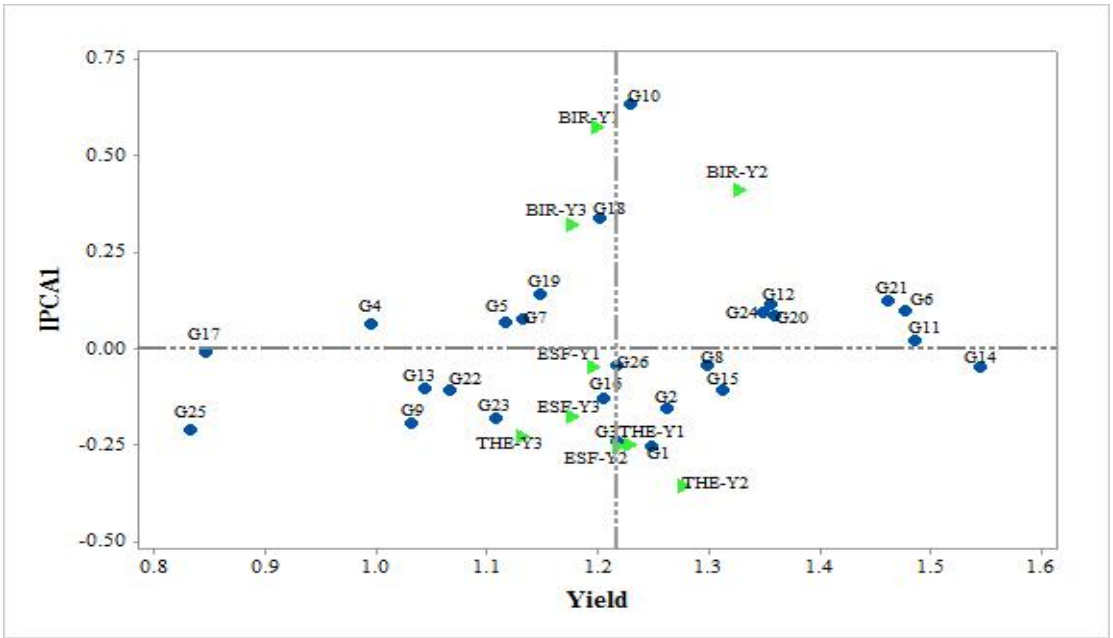
شماره ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	میانگین عملکرد (تن در هکتار)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	ASV
G1	CH-5	۱/۲۵۰	-۰/۲۵۴	-۰/۳۰۳	-۰/۰۲۹	۰/۵۹
G2	CW-74	۱/۲۶۳	-۰/۱۵۷	۰/۱۴۹	-۰/۰۹۰	۰/۳۴
G3	PI-250190	۱/۲۱۹	-۰/۲۵۳	۰/۰۳۲	۰/۱۸۳	۰/۵۰
G4	PI-506426	۰/۹۹۶	۰/۰۶۴	۰/۰۹۳	۰/۰۵۸	۰/۱۶
G5	22-191	۱/۱۱۷	۰/۰۶۷	۰/۱۸۰	-۰/۱۹۵	۰/۲۲
G6	A2	۱/۴۷۸	۰/۰۹۹	-۰/۱۷۱	۰/۱۱۲	۰/۲۵
G7	Gila	۱/۱۳۲	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	-۰/۰۵۵	۰/۱۶
G8	E2417	۱/۲۹۸	-۰/۰۴۶	۰/۲۹۲	۰/۱۶۵	۰/۳۰
G9	C121	۱/۰۳۲	-۰/۱۹۳	۰/۱۳۶	۰/۲۸۳	۰/۴۰
G10	Syrian	۱/۲۳۰	۰/۶۳۳	-۰/۱۹۱	۰/۰۰۱	۱/۲۶
G11	LRV-55-295	۱/۴۸۷	۰/۰۲۱	-۰/۱۵۴	۰/۱۸۴	۰/۱۶
G12	Kino-76	۱/۳۵۷	۰/۱۱۶	-۰/۱۲۹	۰/۰۲۴	۰/۲۶
G13	62918	۱/۰۴۴	-۰/۱۰۶	۰/۰۳۳	-۰/۱۲۱	۰/۲۱
G14	Hartman	۱/۵۴۵	-۰/۰۴۹	-۰/۰۶۷	۰/۲۴۶	۰/۱۲
G15	C111	۱/۳۱۳	-۰/۱۰۸	۰/۱۵۸	-۰/۱۹۹	۰/۲۶
G16	S149	۱/۲۰۶	-۰/۱۲۹	-۰/۰۱۳	۰/۱۱۷	۰/۲۵
G17	Zarghan279	۰/۸۴۶	-۰/۰۱۰	-۰/۱۰۶	-۰/۱۷۸	۰/۱۱
G18	M420	۱/۲۰۲	۰/۳۳۸	۰/۲۹۳	۰/۰۴۲	۰/۷۳
G19	CW-4440	۱/۱۴۸	۰/۱۳۹	۰/۰۸۱	-۰/۱۹۶	۰/۲۹
G20	PI-253384	۱/۳۶۰	۰/۰۸۳	-۰/۲۰۶	۰/۱۱۹	۰/۲۶
G21	E2428	۱/۴۶۲	۰/۱۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۲۴
G22	LRV-51-51	۱/۰۶۶	-۰/۱۱۱	۰/۱۶۲	۰/۰۰۶	۰/۲۷
G23	PI-258417	۱/۱۱۰	-۰/۱۸۰	-۰/۲۴۶	-۰/۱۴۵	۰/۳۶
G24	PI-250537	۱/۳۴۹	۰/۰۹۱	۰/۰۱۰	-۰/۰۲۰	۰/۱۸
G25	301055	۰/۸۳۴	-۰/۲۱۰	-۰/۰۹۲	-۰/۲۱۹	۰/۴۲
G26	کوسه	۱/۲۱۸	-۰/۰۴۴	-۰/۰۲۰	-۰/۱۰۷	۰/۰۹

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای محیط‌های موردبررسی

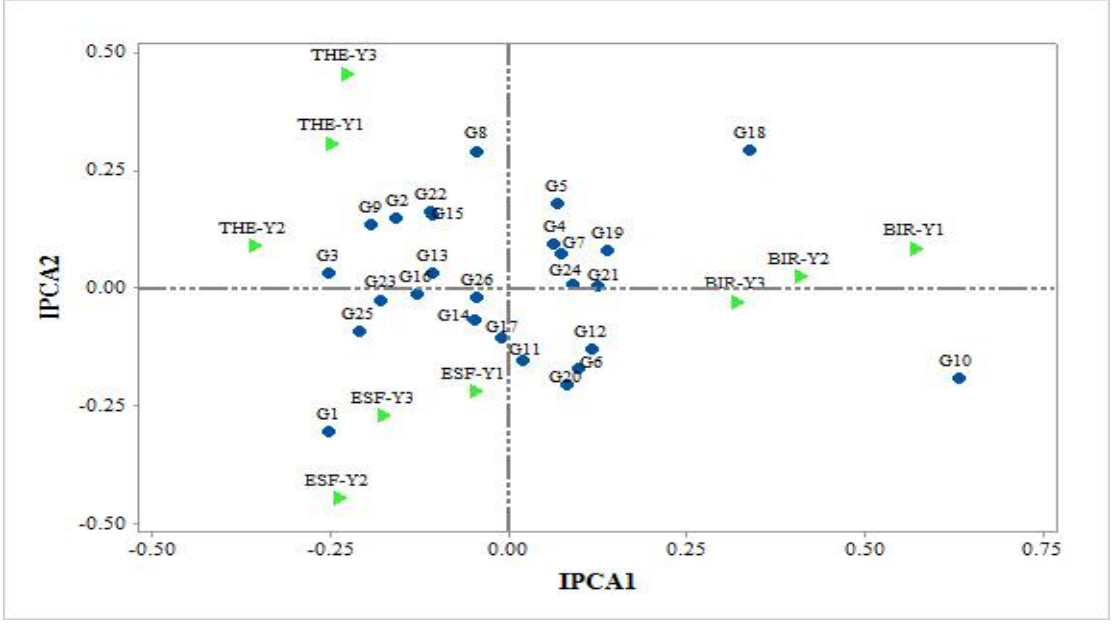
Table 5. The mean grain yield and the principle component for studied environments

کد مکان	نام مکان	سال	میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	ASV
BIR-Y1	بیرجند	۱۳۹۴	۱/۱۹۹	۰/۵۷۱	۰/۰۸۵	۰/۱۵۵	۱/۱۳
BIR-Y2	بیرجند	۱۳۹۵	۱/۳۲۶	۰/۴۰۹	۰/۰۲۶	−۰/۱۴۰	۰/۸۰
BIR-Y3	بیرجند	۱۳۹۶	۱/۱۷۶	۰/۳۱۹	−۰/۰۲۹	−۰/۱۷۴	۰/۶۳
ESF-Y1	اصفهان	۱۳۹۴	۱/۱۹۵	−۰/۰۴۹	−۰/۲۲۰	−۰/۰۶۰	۰/۲۴
ESF-Y2	اصفهان	۱۳۹۵	۱/۲۱۹	−۰/۲۴۰	−۰/۴۴۸	−۰/۲۰۶	۰/۶۵
ESF-Y3	اصفهان	۱۳۹۶	۱/۱۷۵	−۰/۱۷۱	−۰/۲۷۲	۰/۵۶۳	۰/۴۴
THE-Y1	تهران	۱۳۹۴	۱/۲۲۸	−۰/۲۵۰	۰/۳۰۹	۰/۰۸۸	۰/۵۸
THE-Y2	تهران	۱۳۹۵	۱/۲۷۷	−۰/۳۵۹	۰/۰۹۱	−۰/۲۹۶	۰/۷۱
THE-Y3	تهران	۱۳۹۶	۱/۱۳۱	−۰/۲۳۰	۰/۴۵۸	۰/۰۷۱	۰/۶۴

شکل ۱ بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در این شکل خط عمود در میانه بای‌پلات نشان‌دهنده میانگین عملکرد دانه کل سه سال آزمایش می‌باشد. ژنوتیپ‌ها و مکان‌های سمت راست این خط دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل می‌باشند. با توجه به این توضیح ژنوتیپ‌های Hartman، LRV-55-295، A2، E2428، PI-253384، Kino-76، PI-250537، C111 و E2417 با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود در میانه بای‌پلات، عملکرد دانه بالاتر از متوسط را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های 301055 و Zarghan279 کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. همچنین محور افقی در میانه نمودار نشان می‌دهد که هیچ‌گونه اثر برهمکنشی وجود ندارد. لذا ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به محور افقی بای‌پلات قرار گرفته‌اند با داشتن اثر برهمکنش نزدیک به صفر از پایداری بیشتری برخوردار هستند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های Zarghan279، LRV-55-295 و Hartman دارای اثر برهمکنش نزدیک به صفر می‌باشند، ولی دراین‌بین ژنوتیپ‌های Hartman و LRV-55-295 با داشتن میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل و کم‌ترین میزان اثر برهمکنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری مطلوب انتخاب شدند. شکل ۲ بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر برهمکنش را نشان می‌دهد. این بای‌پلات جمعاً ۵۹/۵۳ درصد تغییرات مربوط به اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط را توجیه می‌کند. به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول سهم بیشتری (۴۰/۱۸ درصد) از مؤلفه دوم (۱۹/۳۵ درصد) دارا می‌باشد. در بای‌پلات شکل ۲ ژنوتیپ‌های M420، Syrian، CH-5 و E2417 از اثر برهمکنش بسیار بزرگی برخوردار بوده و به همین دلیل ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های کوسه، PI-250537، Hartman، S149 و 62918 از کمترین اثر برهمکنش برخوردار بودند که از بین آن‌ها ژنوتیپ‌های کوسه، Hartman و PI-250537 به علت داشتن میانگین عملکرد دانه بیشتر از میانگین کل، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی مطلوب شناخته شدند. عمرانی و همکاران (۲۹) در آزمایشی برای تعیین پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان ویژه مناطق گرم و خشک کشور، ۳۲ ژنوتیپ گندم را در شش ایستگاه تحقیقاتی مناطق گرم و خشک جنوب کشور در دو سال زراعی مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج تجزیه پایداری با استفاده از روش امی، ژنوتیپ‌های ۲، ۶ و ۱۴ را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی و معرفی کردند.



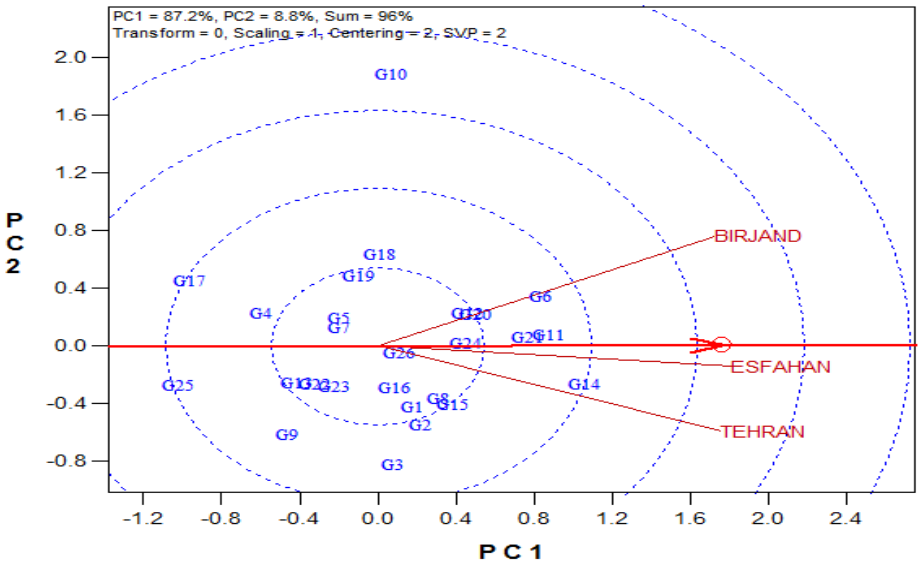
شکل ۱- بای‌پلات میانگین ژنوتیپ‌ها و اولین مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ‌ها و مکان‌های موردبررسی
Figure1. Mean yield biplot of genotypes for studied locations with first their principle component



شکل ۲- بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برای ژنوتیپ‌ها و مکان‌های موردبررسی
Figure 2. Bipolt of the first and second principle components for studied genotypes and different locations

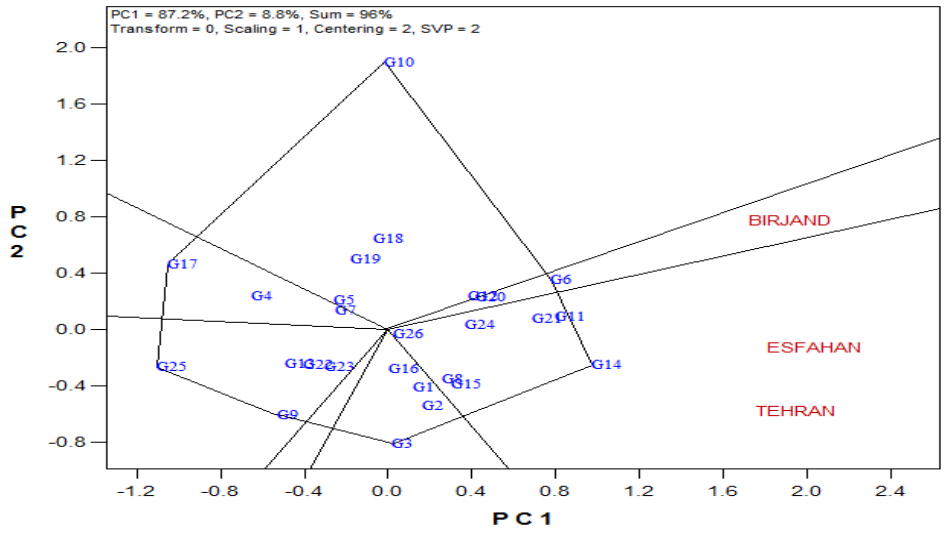
تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات

به‌منظور بررسی تنوع ارقام، محیط‌ها و مطالعه اثر برهمکنش ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات استفاده شد. بر اساس روش GGE بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم (AXIS1=PC1=۸۷/۲ و AXIS2=PC2= ۸/۸) ۹۶ درصد از تغییرات را توجیه کردند. به‌عبارت‌دیگر بای‌پلات این دو مؤلفه توانست ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نماید. بر اساس نظر یانگ و همکاران (۳۶) درصورتی‌که نمودار بای‌پلات حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌تواند برای استخراج ابر محیط‌ها از آن استفاده گردد. شکل ۳ رابطه بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل زاویه بین محور محیط‌ها مؤید همبستگی بین دو محیط بوده که بر این اساس می‌توان آزمایش را فقط در یک محیط اجرا و به بقیه محیط‌ها تعمیم داد. کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها بیانگر میزان همبستگی و طول بردار بیانگر شدت همبستگی می‌باشد. در ضمن زوایای حاده معرف همبستگی مثبت و زوایای منفرجه معرف همبستگی منفی است که در این شکل محیط‌های اصفهان و تهران همبستگی مثبت را نشان می‌دهند؛ بنابراین می توان یکی از این مکان‌ها را برای کاهش هزینه‌های تحقیقاتی استفاده کرد چرا که در حقیقت این مکان‌ها نشان‌دهنده یک گروه یا محیط کلان هستند. جهت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر مکان از نمودار چندوجهی شکل ۴ استفاده شد. نمودار چندوجهی از وصل‌کردن ژنوتیپ‌هایی حاصل می‌شود که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و سایر ژنوتیپ‌ها در داخل آن قرار می‌گیرند. مکان بیرجند در بخشی قرار دارد که ژنوتیپ A2 در رأس آن قرار گرفته است و این بدین معناست که ژنوتیپ A2 بهترین ژنوتیپ برای منطقه بیرجند است. مکان‌های اصفهان و تهران در بخشی قرار دارند که ژنوتیپ Hartman در رأس آن است لذا بهترین ژنوتیپ در این مناطق ژنوتیپ Hartman می‌باشد. ویژگی دیگر این بای‌پلات این است که گروه‌بندی محیط‌ها را نشان می‌دهد، این ویژگی اشاره به شناسایی ابر محیط‌های مختلف دارد. در این بای‌پلات بیرجند به‌عنوان اولین ابر محیط، تهران و اصفهان به‌عنوان دومین ابر محیط شناسایی شدند. شکل ۵، رتبه‌بندی را بر اساس بهترین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد. مرکز دوایر متحدالمرکز ناحیه‌ای است که ایده آل‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌توانند وجود داشته باشند؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به این مرکز باشند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر و ایدآل معرفی می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های Hartman، LRV-55-295، A2 و E2428 به‌عنوان ایده‌آل‌ترین و ژنوتیپ‌های 301055 و Zarghan279 به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. شکل ۶ رتبه‌بندی محیط‌ها را برای سه سال آزمایش نشان می‌دهد، بر این اساس به ترتیب اصفهان و تهران بهترین محیط‌ها در این مطالعه بودند و همچنین محیط بیرجند به دلیل داشتن بیشترین فاصله از مرکز دایره‌های متحدالمرکز به‌عنوان ضعیف‌ترین محیط شناخته شد که آماره AMMI (ASV) نیز صحت مطلب فوق را تأیید می‌کند. عمرانی و همکاران (۳۰) ۳۲ ژنوتیپ گندم نان را در ۶ مکان گرم و خشک جنوب ایران به مدت ۲ سال با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات موردبررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روش GGE بای‌پلات مکان‌های مورد مطالعه را به ۴ ابر محیط تقسیم کردند و برای هر ابر محیط یک ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب کردند.



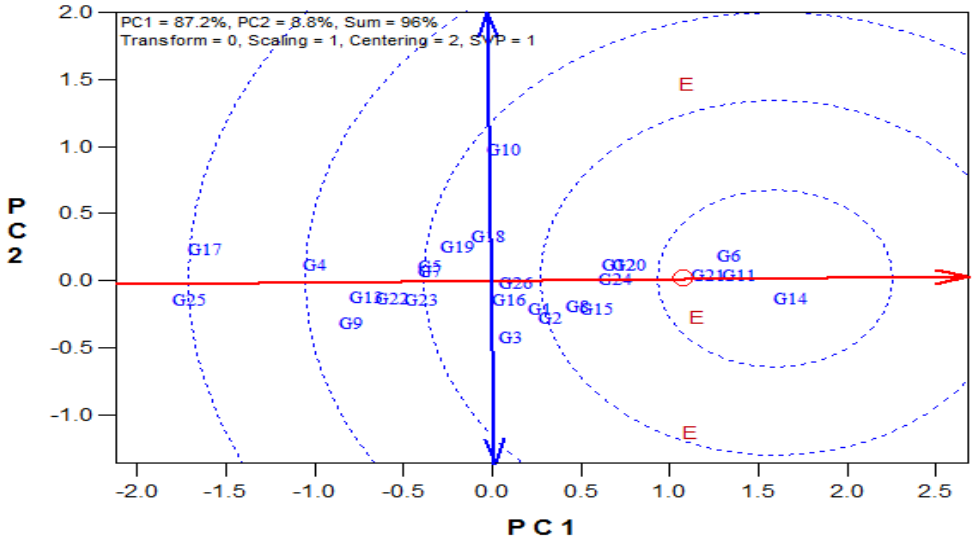
شکل ۳- نمودار بررسی روابط بین محیط‌ها با استفاده از روش GGE Biplot

Figure 3. Diagram of correlations among environments using the GGE biplot method



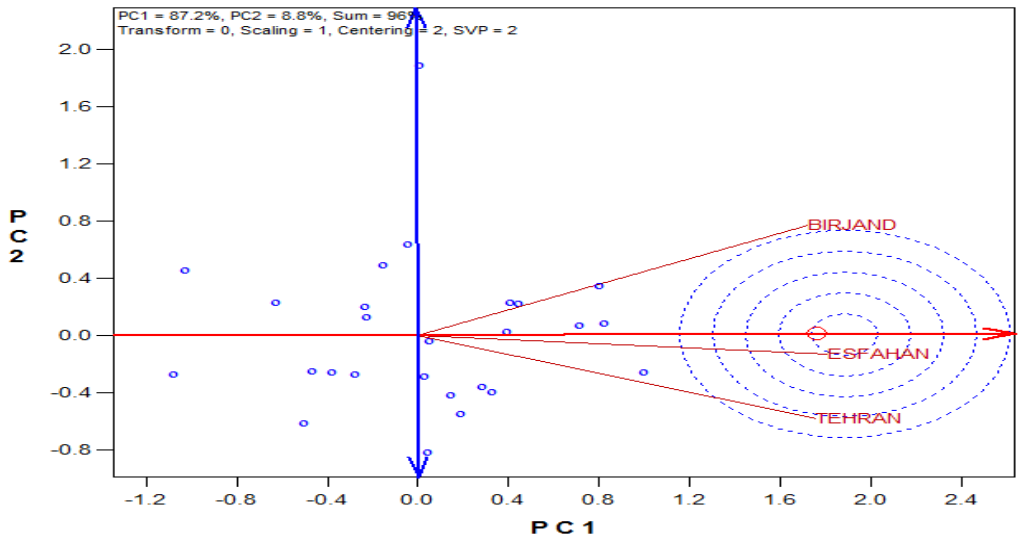
شکل ۴- نمودار چندوجهی GGE Biplot که نشان‌دهنده پر محصول‌ترین ژنوتیپ‌ها در هر محیط است

Figure 4. Polygons of GGE biplot method that display the most productive genotypes in each environment



شکل ۵- نمودار ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در سه سال آزمایش

Figure 5. Chart of Ideal genotype to evaluate genotypes in three years



شکل ۶- نمودار محیط ایده‌آل فرضی برای ارزیابی محیط‌های مطالعه شده در سه سال آزمایش

Figure 6. Chart hypothetical ideal environment for three years studied environmental assessment

منابع

1. Alizadeh, K., M. Eskandari, A. Shariati and M. Eskandari. 2008. Study on spring type safflower lines suitable for cold drylands using GGE biplots. World Journal of Agricultural Sciences, 4(6): 726-730.
2. Annicchiarico, P., L. Russi, E. Piano and F. Veronesi. 2006. Cultivar adaptation across Italian locations in four turfgrass species. Crop Science, 46: 264-272.
3. Anonymous. 2017. Agriculture-Iran-Statistics.https: //www.maj.ir /Dorsapax /userfiles /Sub65 / Amarnamehj 194-95-site.pdf.
4. Anonymous. 2018. Agriculture-Iran-Statistics.https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj195-96-site.pdf.
5. Becker, H.B. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding, 101: 1-23.
6. Bergman, J.W. and R.F. Charles. 2008. Evaluation of safflower and other oil seed crops grown in the United States Northern Plains region for biofuels/ biobased products. In: Proceedings of VIIth International Safflower Conference, 3-6 November, Wagga Wagga, Australia.
7. Campbell, B.T. and M. A. Jones. 2005. Assessment of cultivar x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. Euphytica, 144: 69-78.
8. Crossa, J., H.G. Gauch and R.W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maiz cultivar trials. Crop Science, 30: 493-500.
9. Farshadfar, E. 1998. Application of Biometrical Genetics in Plant Breeding. Secend edition. Razi University Publications. Kermanshah, Iran, 396 pp (In Persian).
10. Farshadfar, E., M. Mohammadi, M. Aghaee and Z. Vaisi. 2012. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. Australian Journal of Crop Science, 6(6): 1074-1079.
11. Gangadhar, K., S.A. Biradar, B.K. Desi, K. Ajithkumar and R. Rajanna. 2018. Growth and quality parameter of safflower as influenced by different row proportion in intercropping system of safflower (*Carthamus tincorius* L.) and linseed (*Linum usitatissimum* L.) under Rainfed condition. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(2): 1549-1554.
12. Gebremedhin, W., M. Firew and B. Tesfye. 2014. Stability analysis of food barley genotypes in northern Ethiopia. African Crop Science Journal, 22(2): 145-153.
13. Gollob, H.F. 1968. A Statistical Model Which Combines Features of Factor Analytic and Analysis of Variance Techniques. Psychometrika, 33: 73-115.
14. Kaiser, D.E., J.J. Wiersma and J.A. Anderson. 2014. Genotype and environment variation in elemental composition of spring wheat flag leaves. Agronomy Journal, 106: 324-336.
15. Karimizadeh, R., H. Dehghani and Z. Dehghanpour. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype × environment interaction in early maturing corn hybrids. Seed Plant Improvement Journal, 23(4): 531-546 (In Persian).
16. Kendal, E. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Ekin Journal, 2(1): 90-99.

17. Khomari, A., Kh. Mostafsvi and A. Mohammadi. 2017. Stability Study of Yield in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars using AMMI Method. Journal of Crop Breeding, 9(23): 117- 124 (In Persian).
18. Khomari, A., Kh. Mostafsvi and A. Mohammadi. 2018. Evaluation of yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) using additive main effects and multiplicative interaction method. Journal of crop production, 11(2): 185- 195 (In Persian). http://dx.doi.org/10.22069/ejcp. 2018.13567.2043
19. Liu, L., L.L. Guan and Y.X. Yang. 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. World journal tradit chin med, 2(2): 48-52.
20. Ma'ali, S.H. 2008. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of maize yield trials in South Africa. S. Afr. J. Plant Soil, 25: 185-193.
21. Makumbi, D., A. Diallo, K. Kanampiu, S. Mugo and H. Karaya. 2015. Agronomic performance and genotype x environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. Crop Science, 55: 540-555.
22. Moghaddam, M.J. and S.S. Pourdad. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analysing genotype × environment interactions in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Science, Cambridge. 147: 601-612.
23. Mohammadi, R. and A. Amri. 2011. Cultivar x environment interaction for duram wheat grain yield and selection for drought tolerance in irrigated and droughted environments. J. Crop Sci. Biotech., 14: 265-274.
24. Mohammadi, R., M. Armion, H. Esmail Zad, M.M. Ahmadi and D. Sadegh Zadeh Ahari. 2012. Genotype × Environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot model. Seed and plant improvement journal, 3(28): 503-518 (In Persian).
25. Moreno-Gonzalez, J., J. Crossa and P.L. Cornelius. 2004. Genotype x environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica, 137: 119-127.
26. Mostafavi, Kh., H. Shojaei, M. Khodarahmi and A. Mohammadi. 2010. The interaction of genotype and environment in canola with using GGE biplot graphical methods, Third International Seminar of oilseeds and edible oils, Tehran, Coordination Center of Science and Industry oilseeds.
27. Mündel, H.H. 2008. Major achievements in safflower breeding and future challenges. In: Proceedings of Products, VIIth International Safflower Conference, 3-6 November, Wagga Wagga, Australia.
28. Nassir, A.L. and O.J. Ariyo. 2011. Genotype x Environment interaction and yield-stability analysis of rice grown in tropical inland swamp. Not Bot Hort AgrobotCluj, 39(1): 220-225.
29. Omrani S, A.M. Naji and M. Esmaeil Zadeh Moghadam. 2018. Evaluation of Yield Stability of Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes using Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI). Journal of Crop Breeding, 10(25): 73-80 (In Persian).
30. Omrani, S., A.M. Naji and M. Esmaeil Zadeh Moghadam. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agro climatic zone of Iran using GGE biplot model. Journal of Crop Breeding, 9(23): 157-165 (In Persian).
31. Purchase, J.L., H. Hatting and C.S. Van-Deventer. 2000. Cultivar x environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II Stability analysis of yield performance. S. Afr. J. Plant Soil, 17: 101-107.
32. Sadeghi, S.M., H. Samizadeh, E. Amiri and M. Ashouri. 2011. Additive main effect sand multiplicative interactions (AMMI) analysis of dry leaf yield in tobacco hybrids across environments. African Journal of Biotechnology, 10: 4358-4364.
33. Sujatha, M. 2008. Biotechnological interventions for genetic improvement of safflower. In: Proceedings of VIIth International Safflower Conference, 3-6 November, Wagga Wagga, Australia.
34. Uher, J. 2008. Safflower in European Floriculture. In: Proceeding of VIIth International Safflower Conference, 3-6 November, Wagga Wagga, Australia.
35. Vaezi, B., J. Ahmadi and H. Naraki. 2011. Genotype × environment interaction and stability analysis for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under warm rainfed conditions. Iranian Journal of Crop Science. 13: 395-407 (In Persian).
36. Yang, R., J. Crossa, P. Cornelius and J. Bugueno. 2009. Biplot analysis of genotype x environment interaction: Proceed with caution. Crop Science, 49: 1564-1576.

Application of multivariable of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction and Biplot Graphical Analysis Multivariate Methods on the Study of Genotype-Environment Interaction on Safflower Genotypes Grain Yield

Saeed Omrani[1], Ali Omrani[2], Mahvash Afshari[3], Ali Saremi-rad[4], Siavash Bardehji[3] and Peyman Foroozesh[5]

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (Corresponding author: s.omrani70@gmail.com)
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil (Moghan) Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
3- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4 and 5- Ph.D. Student and Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
Received: March 18, 2019 Accepted: October 31, 2019

Abstract

To evaluate the effect of different environments on grain yield, 25 genotypes of safflower along with one control group namely Kouse were studied in three locations (Tehran, Birjand and Isfahan) and three years (from 2015 to 2017), in each using a completely randomized block design with three replications. The results obtained from AMMI analysis demonstrated that the main effects of genotype, environment and genotype × environment interaction were highly significant. The first four principal components justified around 83% of the sum of squares of the interactions, and explained 40%, 19%, 13% and 9% of variances, respectively. Drawing the biplot of the first principal component and the average yield for genotypes and environments suggested that genotypes including Kouse, E2417, PI-250537 with higher than average yields and desired stability were selected. Biplot of the first two principal components showed that the interaction between genotypes Kouse, Hartman and PI-250537 were identified as genotypes with good compatibility.
Based on GGE Biplot method, two main components of the spatial regression models explained about 96% of grain yield variability. Biplot of relevance between environments confirmed the existence of almost identical reaction between genotypes in both locations including Isfahan and Tehran, but genotypes in Birjand showed a different reaction than these two environments. Based on the polygonal figure, genotypes including A2 in Birjand and Hartman in Isfahan as well as Tehran had a higher degree of narrative compatibility and performance stability. Genotype of Hartman and Isfahan location were the most ideal genotype and environments compared to other genotypes and environments.

Keywords: AMMI, GGE Biplot, Mega-Environments, Stability Analysis, Safflower