

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به روش GGE بای پلات در گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

سید سعید پورداد* و مهدی جمشید مقدم^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۳)

چکیده

روش GGE (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) بای پلات یکی از روش‌های جدید در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده که در آن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از هم تفکیک نشده و گزینش ارقام پایدار براساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد. در این تحقیق، از روش GGE بای پلات برای بررسی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ در شش ایستگاه تحقیقاتی و در شرایط با و بدون تنش رطوبتی در کشت بهاره استفاده گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ۹۳/۹٪ از کل تغییرات مربوط به اثر محیط و ۶/۱٪ متعلق به اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود. بررسی بای پلات چند ضلعی منجر به شناسایی شش ژنوتیپ برتر و چهار محیط بزرگ شده و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ مشخص گردیدند. هفت ژنوتیپ دیگر در نواحی قرار گرفتند که هیچ محیطی قرار نداشت و در اکثر محیط‌ها ارقامی ضعیف بودند. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای پلات مختصات محیط متوسط نشان داد که ارقام *Gila* و *Hartman* با عملکرد زیاد دارای پایداری عملکرد بیشتری نیز بودند. رقم *Hartman* نزدیک‌ترین رقم به ژنوتیپ ایدآل (ژنوتیپی فرضی که دارای بیشترین عملکرد و پایداری باشد) بوده و *Gila* و *Sina* نیز به ژنوتیپ ایدآل نزدیک بودند. هم‌چنین دو منطقه شیروان و کوه‌دشت محیط‌های مشابهی بوده و وجود و یا عدم وجود تنش نیز نتوانسته بود بین این محیط‌ها تفاوت زیادی ایجاد نماید. محیط‌های زنجان، قاملو، کوه‌دشت و سرارود در شرایط بدون تنش رطوبتی دارای قابلیت تمایز بیشتری بودند.

واژه‌های کلیدی: پایداری عملکرد، تنش محیطی، آمار پارامتری و ناپارامتری

۱. معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، کرمانشاه

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: spourdad@yahoo.com

مقدمه

بای پلات برای اولین بار توسط گابریل (۲) مطرح گردید و سپس توسط کمپتون (۹) و زوبل و همکاران (۲۱) توسعه یافت. اما کاربرد وسیع آن در بررسی اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط طی چند سال اخیر توسط یان و همکاران (۱۷) نشان داده شده است.

آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) حائز اهمیت است (۴). تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط است که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ (G) و ژنوتیپ × محیط (GE) می‌بایست به‌صورت توأم بررسی شوند. روش GGE بای پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر همزمان و به‌صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (۱۸). هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به روش گرافیکی GGE بای پلات در ژنوتیپ‌های گلرنگ در کشت بهاره و هم‌چنین شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار و محیط‌های برتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، تعداد ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ (جدول ۱) به اسامی Kino-76، S-541، CW-74، Syrian، Dincer، Lesaf، Sina، PI-250537، Gila، Cyprus bregon، CW-4440، Hartman، PI250536 و محلی اصفهان در دو حالت تحت تنش و بدون تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شش ایستگاه سرارود (کرمانشاه)، مراغه، قاملو (کردستان)، خدابنده (زنجان)، کوه‌دشت (لرستان) و شیروان (خراسان شمالی) در بهار سال ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط ۶ متری با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. در آزمایش بدون تنش رطوبتی، پس از قطع بارندگی بهاره، زمانی که رطوبت خاک به ۶۰٪ ظرفیت

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط یکی از مفاهیم مهم در اصلاح نباتات بوده که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی نقش اساسی در تعیین ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های هدف داشته باشد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط زمانی مهم است که این اثر معنی‌دار شده و ژنوتیپ‌های مختلف برتری خود را در محیط‌های متفاوت نشان دهند (۵). عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط متشکل از اثر اصلی محیط (E)، اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) است. علی‌رغم این که اثر محیط میزان زیادی از درصد تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌کند و اثرهای ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط کوچک‌تر هستند، اما این دو اثر در آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌ها دخیل بوده و در زمان گزینش ژنوتیپ‌های برتر، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید به صورت توأم مد نظر قرار گیرند (۱۴).

روش‌های آماری زیادی برای مشخص کردن وضعیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ابداع شده که معمولاً آنها را به دو گروه پارامتری و نا پارامتری تقسیم می‌کنند (۶). روش‌های پارامتری خود به دو گروه یک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. سه روش تجزیه آماری AMMI، GGE بای پلات و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر پایه ریشه راکد منفرد (Singular value decomposition, SVD) بنا نهاده شده‌اند (۳) و اغلب برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش‌های مقایسه عملکرد ناحیه‌ای استفاده می‌شوند. در روش GGE بای پلات، اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) از هم تفکیک نشده‌اند. گاج (۳) اظهار داشت که روش AMMI به علت تفکیک GE از یکدیگر همواره بر روش GGE ارجحیت دارد و یا حد اقل از نظر دقت با آن برابر است. در حالی که گانگ (۸) عقیده دارد که از دیدگاه به‌نژادگران و نیز تولیدکنندگان محصولات زراعی، گزینش ژنوتیپ‌ها براساس G و یا GE به تنهایی مد نظر نیست. یان و همکاران (۱۹) نیز اعتقاد دارند که روش GGE بای پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط از روش AMMI موفق‌تر است. روش

جدول ۱. میانگین عملکرد، مشخصات ظاهری، کد و منشأ ژنوتیپ‌های تحت بررسی گلرنگ

ژنوتیپ	کد	منشأ	میانگین عملکرد	ظاهر
Gila	G1	آمریکا	۱۲۲۲	خاردار، گلچه زرد- قرمز
Dincer	G2	ترکیه	۱۰۶۳	خاردار، گلچه زرد- نارنجی
Hartman	G3	آمریکا	۱۲۰۷	خاردار، گلچه زرد
Lesaf	G4	کانادا	۱۰۸۵	خاردار، گلچه زرد
Cyprobregon	G5	قبرس	۱۱۵۷	خاردار، گلچه زرد
Syrian	G6	سوریه	۱۰۵۳	بی خار، گلچه قرمز
Isfahan Local	G7	ایران	۱۰۰۹	بی خار، گلچه قرمز
PI-250536	G8	مصر	۱۱۷۱	خاردار، گلچه زرد- نارنجی
PI-250537	G9	مصر	۹۹۷	خاردار، گلچه زرد- نارنجی
Sina	G10	ایران	۱۱۲۱	خاردار، گلچه زرد- نارنجی
CW-74	G11	آمریکا	۱۰۶۳	خاردار، گلچه زرد
CW-4440	G12	آمریکا	۱۲۲۲	خاردار، گلچه زرد- نارنجی
Kino-76	G13	مکزیک	۱۱۰۸	خاردار، گلچه زرد
S-541	G14	آمریکا	۱۰۰۸	خاردار، گلچه قرمز

β_j = اثر اصلی محیط زام

ϕ_{ij} = اثر متقابل بین ژنوتیپ i ام و محیط زام

ϵ_{1j} و ϵ_{2j} به ترتیب به عنوان امتیازهای اولیه ژنوتیپ i ام و محیط زام و ϵ_{1j} و ϵ_{2j} نیز به ترتیب به عنوان امتیازهای ثانویه ژنوتیپ i ام و محیط زام نامیده می‌شوند. هم‌چنین ϵ_{ij} مقدار باقیمانده‌ای است که توسط اثرهای اولیه و ثانویه توجیه نمی‌شود.

در واقع روش GGE بای پلات از رسم ϵ_{1j} در مقابل ϵ_{2j} و ϵ_{1j} در مقابل ϵ_{2j} در یک نمودار پراکنش به دست می‌آید. متداول‌ترین روش برای به کارگیری معادله فوق استفاده از ریشه راکد منفرد (SVD) است که در این حالت معادله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

زراعی رسید اقدام به آبیاری شد. به طوری که چهار نوبت آبیاری صورت گرفت. در حالی که در آزمایش با تنش رطوبتی هیچ‌گونه آبیاری انجام نشد. عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در ۱۲ محیط تحت بررسی پس از برداشت اندازه‌گیری شد. میزان بارندگی، ارتفاع از سطح دریا و نوع خاک محیط‌های تحت بررسی در جدول ۲ ارایه شده است.

مدل استفاده شده در GGE بای پلات به صورت زیر بود:

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = \epsilon_{1i}\epsilon_{1j} + \epsilon_{2i}\epsilon_{2j} + \phi_{ij} + \epsilon_{ij} \quad [1]$$

که:

y_{ij} = عملکرد مورد انتظار ژنوتیپ i ام در محیط زام

μ = میانگین کل مشاهدات

جدول ۲. میزان بارندگی، ارتفاع از سطح دریا و نوع خاک مکان‌ها و کد محیط‌های تحت بررسی

مکان	محیط	کد	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	نوع خاک
سرارود	بدون تنش	SAR N	۱۲۴۱	۱۳۵۱	۴۴۰	رس شنی
	با تنش	SAR S	۱۰۷۴			
مراغه	بدون تنش	MAR N	۱۳۶۰	۱۴۰۰	۳۸۱	لوم رس
	با تنش	MAR S	۵۰۹			
قاملو	بدون تنش	GHA N	۲۰۹۲	۱۸۵۰	۳۵۰	لوم رس
	با تنش	GHA S	۳۹۳			
زنجان	بدون تنش	ZNJ N	۳۰۵۳	۱۸۷۵	۳۸۳	لوم رس
	با تنش	ZNJ S	۳۷۶			
شیروان	بدون تنش	SHR N	۵۲۸	۱۱۳۱	۳۲۹	لوم رس
	با تنش	SHR S	۳۵۲			
کوهدشت	بدون تنش	KOH N	۱۵۵۸	۱۲۰۰	۳۸۶	لوم
	با تنش	KOH S	۷۳۵			

عملکرد دانه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آنها نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده (۹۳/۹٪) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها تنها بخش بسیار کوچکی (۹/۰٪) از تغییرات را توجیه کرده است. با توجه به این‌که محیط‌های آزمایش طیف وسیع آب و هوایی مناطق سرد، معتدل سرد و گرمسیر کشور را شامل شده است و هم‌چنین در هر منطقه نیز شرایط تنش و عدم تنش خشکی اعمال شده است، لذا تخصیص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. پورداد و غفاری (۱۱) در کلزا ۷۹٪ تغییرات و جمشید مقدم و پورداد (۷) در گلرنگ پاییزه ۸۰٪ تغییرات را به محیط‌ها نسبت دادند. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز سهم کوچکی، اما بیشتر از ژنوتیپ، را به خود اختصاص داده بود.

نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۶/۸ و ۲۴/۶ درصد و در

$$\hat{y}_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1i} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2j} + \epsilon_{ij} \quad [2]$$

که λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1 و PC2)، ξ_1 و ξ_2 به ترتیب بردارهای ویژه (Eigenvectors) ژنوتیپ نام برای PC1 و PC2 و η_1 و η_2 به ترتیب بردارهای ویژه محیط نام برای PC1 و PC2 می‌باشند. پس در واقع می‌توان گفت که مدل GGE بای‌پلات بر پایه SVD دو مؤلفه اصلی بنا نهاده شده است (۱۸). برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزارهای Mstat-c، GGE biplot و SPSS استفاده گردید.

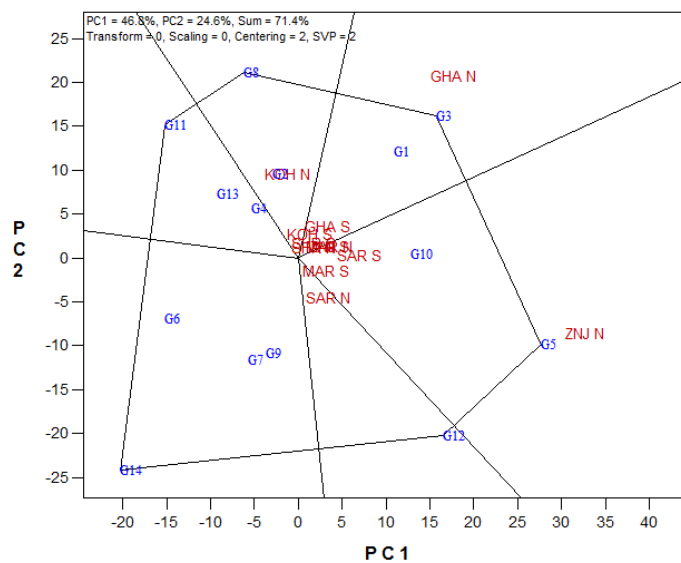
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه (جدول ۳) نشان داد که اختلاف بین محیط‌های تحت بررسی، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بیانگر این است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و پایداری

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه گلرنگ و درصد از مجموع ژنوتیپ + محیط × محیط × محیط

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد از مجموع ژنوتیپ + محیط × محیط × محیط
محیط	۱۱	۲۸۶۰۰۴۰۷**	۹۳/۹
اشتباه	۲۴	۱۹۱۶۸۰	---
ژنوتیپ	۱۳	۲۲۷۶۱۹**	۰/۹۰
ژنوتیپ × محیط	۱۴۳	۱۲۱۷۸۹**	۵/۲۰
اشتباه ادغام شده	۳۱۲	۷۰۵۳۴	---

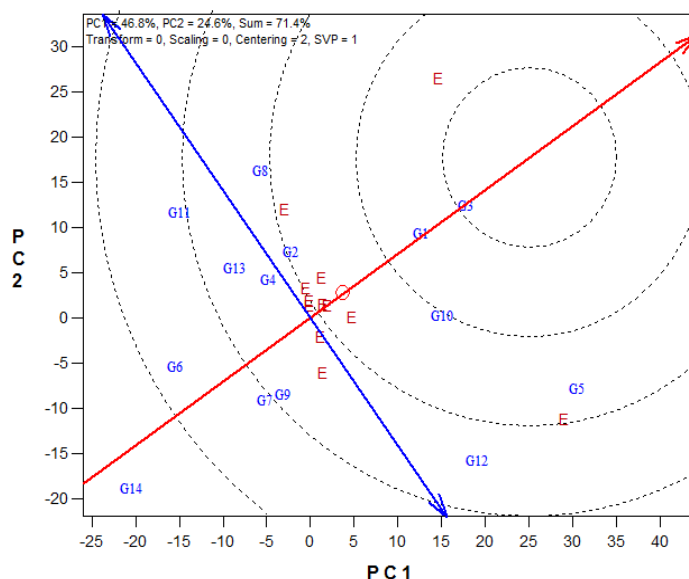
** معنی دار در سطح احتمال ۱٪



شکل ۱. چند ضلعی GGE بای پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف

در رئوس چندضلعی قرار دارند ژنوتیپ‌های برتر بودند. هم‌چنین در این بررسی چهار محیط بزرگ مشخص گردید. اولین محیط بزرگ شامل سرارود بدون تنش رطوبتی و مراغه با تنش رطوبتی بود که در آن ژنوتیپ CW-4440 (G12) برتر بود. دومین محیط بزرگ شامل محیط‌های زنجان بدون تنش رطوبتی و سرارود با تنش رطوبتی بود که Cyprobregon (G5) رقم برتر آن بود. سومین محیط بزرگ حاوی محیط‌های قاملو در دو حالت با و بدون تنش رطوبتی، مراغه بدون تنش رطوبتی و زنجان با تنش رطوبتی بود که Hartman (G3) رقم برتر این محیط بزرگ بود. چهارمین محیط بزرگ شامل محیط‌های

مجموع ۷۱/۴ درصد کل تغییرات را توجیه کرده‌اند، که بیانگر معتبر بودن نسبی بای پلات در توجیه تغییرات G+GE است (شکل ۱). اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرات موجود را توجیه نماید، بیانگر ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده (۲۰) اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای پلات نیست (۱۹). بررسی نمودار چند ضلعی (Polygon) به منظور تعیین ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۱) نشان داد که شش ژنوتیپ (G5) Cyprobregon، (G12) CW-4440، (G3) Hartman، (G14) S-541 و (G11) CW-74، (G8) PI-250536، (G3)



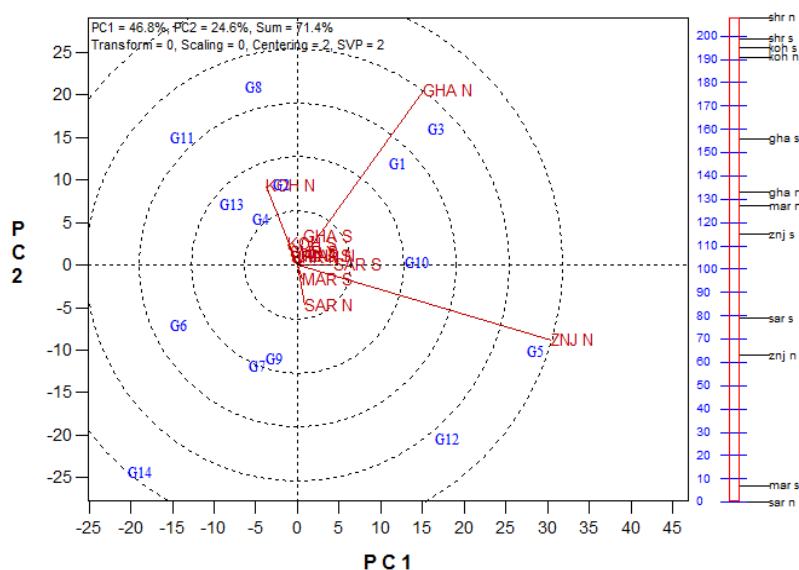
شکل ۳. بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های گلرنگ با ژنوتیپ ایدآل از نظر عملکرد و پایداری

نزدیک به +۱ بود. هم‌چنین دو محیط مراغه با تنش و سرارود بدون تنش رطوبتی دارای همبستگی بسیار نزدیک به +۱ بودند. در مقابل، محیط سرارود بدون تنش، مراغه با تنش و سرارود با تنش رطوبتی دارای زاویه نزدیک به قائمه (شکل ۴) بوده و محیط‌های مجزا محسوب می‌شوند.

هم‌چنین دو محیط زنجان بدون تنش با قاملو در شرایط تنش رطوبتی دارای زاویه حدود ۹۳ درجه بوده و دو محیط مجزا بودند. این وضعیت برای محیط‌های زنجان با تنش با محیط‌های شیروان با و بدون تنش محیطی و کوه‌دشت با و بدون تنش رطوبتی نیز صادق بود. بین بردارهای محیط‌های سرارود بدون تنش و مراغه با تنش رطوبتی، محیط‌های شیروان با و بدون تنش و کوه‌دشت با و بدون تنش رطوبتی باز (حدود ۱۸۰ درجه) وجود داشت که همبستگی حدود -۱ بین آنها برآورد گردید. ویژگی مهم دیگر در بای پلات، همبستگی بین محیط‌ها و طول بردار محیط است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و نیز شاخصی برای قابلیت تمایز (Discriminating ability) محیط‌هاست (۱۸). قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده، به طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام

ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایدآل (شکل ۳) نشان داد که رقم Hartman (G3) نزدیک‌ترین رقم به ژنوتیپ ایدآل بود که بیشترین عملکرد را داشته و به‌علت قرار داشتن روی محور میانگین محیط دارای بیشترین پایداری نیز بود. دو رقم G10 Sina و G1 Gila نیز به ژنوتیپ ایدآل نزدیک بوده و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب گزینش شوند.

کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها در نمودار بای پلات تقریبی از همبستگی بین محیط‌هاست. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد همبستگی آنها صفر، اگر این زاویه صفر درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها +۱ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی -۱ است. با تعیین همبستگی بین محیط‌ها می‌توان در آزمایش‌های تعیین سازگاری و پایداری ارقام که در چندین سال و مکان اجرا می‌شود، محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف نمود که این امر منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد شد (۱۶ و ۱۸). بررسی همبستگی بین محیط‌ها (شکل ۴) نشان داد که زاویه بین بردارهای محیط‌های شیروان و کوه‌دشت با و بدون تنش رطوبتی کوچک بوده و همبستگی بین آنها نزدیک به +۱ است. زاویه بین بردارهای قاملو بدون تنش، مراغه بدون تنش و زنجان با تنش رطوبتی نیز کوچک و همبستگی بین آنها



شکل ۴. بای پلات نقشه همبستگی در محیط‌های تحت بررسی

برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری بوده و توانست ارقام Hartman, Gila و Sina را به ترتیب با میانگین عملکرد ۱۲۰۷، ۱۲۲۲ و ۱۱۲۱ کیلوگرم در هکتار به عنوان پایدار گلرنگ با میانگین عملکرد زیاد در کشت بهاره معرفی نماید. هم‌چنین توانست چهار محیط زنجان، قاملو، کوه‌دشت و سرارود در شرایط بدون تنش رطوبتی را به عنوان محیط‌های متمایزکننده ژنوتیپ‌ها شناسایی کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم و معاونت مؤسسه که امکان انجام آزمایش‌ها را فراهم نمودند کمال تشکر را دارد. هم‌چنین از همکاران بخش تحقیقات دانه‌های روغنی که در اجرای دقیق آزمایش‌ها در ایستگاه‌های تحقیقاتی تلاش نموده‌اند قدردانی می‌شود. از آقای فرهاد قلعه، تکنسین بخش نیز به خاطر تلاش‌های مستمر تشکر و قدردانی می‌شود.

ارایه نمایند (۱۸). بررسی بردارهای محیط‌ها نشان داد که اکثر محیط‌ها دارای طول بردار بسیار کوتاه بوده که نمایانگر کم بودن قابلیت تمایز آنها است. در مقابل، محیط‌های زنجان، قاملو، کوه‌دشت و سرارود در شرایط بدون تنش رطوبتی دارای طول بردار بلند و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری بودند. نکته جالب این‌که قابلیت تمایز این چهار محیط همگی در شرایط بدون تنش رطوبتی بالا بوده و در شرایط با تنش رطوبتی فاقد این قابلیت بودند. این موضوع شاید به این دلیل باشد که ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت بررسی در شرایط رطوبتی مناسب می‌توانند پتانسیل‌های عملکردی خود را بروز داده و از یکدیگر متمایز گردند. راجارام و ون‌گینکل (۱۳) در گندم و بتران و همکاران (۱) در ذرت برای اصلاح گیاهان مقاوم به خشکی اعتقاد به گزینش ارقام در شرایط بدون تنش رطوبتی دارند. پورداد (۱۰) و پورداد و همکاران (۱۲) نیز در بررسی مقاومت به خشکی گلرنگ‌های بهاره گزارش نمودند که گزینش ارقام مقاوم به خشکی گلرنگ باید براساس نتایج در هر دو محیط با و بدون تنش رطوبتی صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج نشان داد که GGE بای پلات روشی مناسب

منابع مورد استفاده

1. Betran, F. J., D. Beck, M. Benziger and G. O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. *Crop Science* 43: 807-817.
2. Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
3. Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488-1500.
4. Gauch, H. G., Jr. and R. W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. PP. 85-122. In: Kang, M. S. and H. G. Gauch, Jr. (Eds.), *Genotype by Environment Interaction*, CRC Press, New York.
5. Haldane, J. B. S. 1946. The interaction of nature and nurture. *Annals of Eugenics* 13: 197-205.
6. Huehn, M. 1996. Non-parametric analysis of genotype × environment interactions by ranks. PP. 213-228. In: Kang, M. S. and H. G. Gauch, Jr. (Eds.), *Genotype by Environment Interaction*, CRC Press, New York.
7. Jamshidmoghadam, M. and S. S. Pourdad. 2009. Comparison of parametric and non-parametric methods for analyzing genotype × environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agricultural Science* 147: 601-612.
8. Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal* 85: 754-757.
9. Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science* 103: 123-135.
10. Pourdad, S. S. 2008. Study on drought resistance indices in spring safflower. *Acta Agronomica Hungarica* 56(2): 202-212.
11. Pourdad, S. S. and A. Ghaffari. 2009. Comparison of parametric and non-parametric yield stability measures and their relationship in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm dry-lands of Iran. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 3: 35-40.
12. Pourdad, S. S., K. Alizadeh, R. Azizinezhad, A. Shariatee, M. Skandari, M. Khyavi and E. Nabati. 2008. Study on drought resistance in spring safflower in different locations. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 45: 403-415. (In Farsi with English abstract).
13. Rajaram, S. and M. Van Ginkle. 2001. Mexico: 50 years of international wheat breeding. PP. 579-604. In: Bonjean, A. P. and W. J. Angus (Eds.), *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*, Lavoisier Pub., Paris, France.
14. Yan, W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal* 94: 990-996.
15. Yan, W. 2001. GGE biplot- A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93: 1111-1118.
16. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
17. Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheny and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
18. Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
19. Yan, W., M. S. Kang, B. Ma, S. Woods and P. L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science* 47: 643-655.
20. Yan, W. and N. A. Tinker. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. *Crop Science* 45: 1004-1016.
21. Zobel, R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.