

به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره امی و تجزیه گرافیکی بای‌پلات جهت برآورد اثر

برهمکنش ژنوتیپ- محیط در ژنوتیپ‌های پنبه

علی صارمی‌راد^{۱*}، خداداد مصطفوی^۲

^۱دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران.

^۲دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

چکیده^۱

مطالعه حاضر با هدف تعیین پایداری و سازگاری عملکرد وش و تجزیه و تحلیل اثر برهمکنش ژنوتیپ- محیط ۱۵ ژنوتیپ پنبه طی سال زراعی ۱۳۹۶ در چهار منطقه بیرجند، شیراز، کرج و کاشمر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پایه‌ریزی و اجرا گردید. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال پنج درصد و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ- محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج مدل امی تنها مؤلفه اصلی اول معنی‌داری شد و حدود ۶۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ با محیط را تبیین نمود. طبق بای‌پلات میانگین عملکرد و مقادیر مؤلفه اصلی اول برهمکنش در مدل امی ژنوتیپ‌های دلتاپاین ۲۵، اولتان، SP731، ورامین، SB35 و شیرپان ۶۰۳ از برهمکنش نزدیک به صفر برخوردار بودند که در بین آن‌ها تنها دو ژنوتیپ SB35 و ورامین به دلیل عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناخته شدند. بر اساس تجزیه گرافیکی بای‌پلات محیط‌های تحت بررسی در دو محیط کلان قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار هر یک از محیط‌های کلان مشخص گردید. بیرجند و شیراز اولین محیط کلان بوده و ژنوتیپ‌های بختگان و مهر بیشترین سازگاری خصوصی را با آن‌ها نشان دادند. ژنوتیپ N-200 دارای بالاترین سازگاری خصوصی با مناطق کرج و کاشمر (دومین محیط کلان) بود. نمودارهای ژنوتیپ و محیط ایده‌آل به ترتیب ژنوتیپ SB35 و محیط بیرجند را نزدیک‌ترین ژنوتیپ و محیط به ایده‌آل‌ترین حالت ممکن معرفی نمودند. نتایج حاصله مؤید تأثیر زیاد برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر عملکرد وش ژنوتیپ‌های پنبه می‌باشد.

* نویسنده مسئول: asaremirad@gmail.com

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات چندوجهی، پایداری، پنبه، مؤلفه اصلی، محیط کلان

مقدمه

پنبه (*Gossypium sp. L.*) یکی از پراهمیت‌ترین گیاهان صنعتی به شمار می‌رود که در صنایع غذایی و نساجی کاربرد دارد. الیاف پنبه از مهم‌ترین الیاف طبیعی در صنایع نساجی جهان محسوب می‌شود (استیف و هایگلر، ۲۰۱۲). دانه پنبه در تهیه روغن استفاده می‌گردد و تفاله حاصل از آن به تغلیف دام می‌رسد. بخش عمده‌ای از محصول پنبه در قاره آسیا تولید می‌شود؛ چهار کشور چین، هند، پاکستان و ازبکستان نزدیک به ۶۸ درصد پنبه جهان را تولید می‌نمایند؛ ایالت متحده آمریکا به‌تنهایی ۱۲ درصد تولید محصول پنبه جهان را دارا می‌باشد (فتحی سعدآبادی و همکاران، ۲۰۱۸).

ایجاد ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری وسیع از اهداف بسیار مهم برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد. عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت کنترل تعداد زیادی ژن قرار دارد و شرایط محیطی تعیین‌کننده عملکرد مناسب ژنوتیپ‌ها می‌باشد (جانایلا و همکاران، ۲۰۱۳). محیط به مجموعه‌ای از شرایطی اطلاق می‌شود که گیاه در آن رشد و توسعه می‌یابد. برهمکنش میان ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده با محیط کشت نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان عملکرد مواد ژنتیکی ایفا می‌کند (پورچاس و همکاران، ۲۰۰۰). آزمایش‌های ناحیه‌ای اطلاعات مفید و سودمندی در ارتباط با انطباق ژنتیکی و پایداری در اختیار قرار می‌دهد. برآورد برهمکنش ژنوتیپ- محیط این امکان را برای اصلاح‌کنندگان گیاهی فراهم می‌نماید تا در خصوص اصلاح برای سازگاری عمومی یا خصوصی گیاهان که بستگی به ثبات و پایداری عملکرد در یک دامنه محدود یا گسترده‌ای از شرایط محیطی دارد، تصمیم‌گیری کنند. افزایش تولید پنبه نیاز به شناسایی و کشت ارقام پایدار دارد. روش‌های متعددی برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها با شناسایی ماهیت برهمکنش ژنوتیپ- محیط در دسترس است؛ در میان این روش‌های مختلف آماری که ارائه شده است، مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) به دلیل اینکه بخش بزرگی از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ- محیط را تبیین می‌کند و از طرفی در تفکیک اثرات اصلی و برهمکنش بسیار موفق عمل می‌نماید، از کارایی ویژه و اهمیت خاصی برخوردار است. این مدل اغلب تفسیرهای زراعی قابل ملاحظه‌ای را ارائه می‌دهد (ابدون و گائوچ، ۲۰۰۲). یکی دیگر از مدل‌هایی که در تفسیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط به کار گرفته می‌شود، روش نسبتاً جدید بای‌پلات بر مبنای مدل‌های چندمتغیره (GGE biplot) می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این مدل تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های اصلاحی است. با استفاده از GGE بای‌پلات محیط‌های تحت ارزیابی از نقطه نظر واکنشی که ژنوتیپ‌ها از خود بروز می‌دهند، به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که از نظر شرایط

1. Additive Main effects and Multiplicative Interaction effects (AMMI)
2. Genotype Main Effect plus Genotype- Environment Interaction (GGE) biplot

محیطی مشابه و یا نزدیک به هم می‌باشند (ماکومی و همکاران، ۲۰۱۵). ویژگی دیگری که روش GGE بای پلات را منحصر به فرد ساخته است، شناسایی و اختصاص ارقام با پتانسیل عملکرد بالا برای هر محیط یا زیرگروه می‌باشد (فرشادفر و همکاران، ۲۰۱۲).

به‌نژادگران گیاهی از روش‌های چندمتغیره برای تجزیه پایداری و سازگاری در گیاهان زراعی و صنعتی مانند گندم نان (عمرانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ عمرانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کایا و همکاران، ۲۰۰۶؛ پورچاس و همکاران، ۲۰۰۰)، گندم دوروم (محمدی و امیری، ۲۰۱۱، محمدی و همکاران، ۲۰۱۲)، جو (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ جبرمدیهین و همکاران، ۲۰۱۴؛ کندال، ۲۰۱۶؛ خماری و همکاران، ۲۰۱۸)، برنج (سامونته و همکاران، ۲۰۰۵؛ نصیر و آریو، ۲۰۱۱)، ذرت (معالی، ۲۰۰۸)، آفتابگردان (خماری و همکاران، ۲۰۱۷)، کلزا (مصطفوی و همکاران، ۲۰۱۰)، گلرنگ (عمرانی و همکاران، ۲۰۱۹)، تنباکو (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱)، عدس (صبانیا و همکاران، ۲۰۰۸) و پنبه (کمپبل و همکاران، ۲۰۰۵؛ نوید و همکاران، ۲۰۰۶؛ نوید و همکاران ۲۰۰۷ a و b؛ خان و همکاران، ۲۰۰۸ a و b) استفاده نموده‌اند و نتایج و اطلاعات جامع و فراوانی را به دست آورده‌اند که کمک شایانی به توسعه کشت و افزایش محصول با معرفی ارقام پایدار و سازگار با مناطق مستعد کشت گیاهان کرده است.

اهداف اصلی مطالعه حاضر عبارت از شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به روش امی با تعیین میزان برهمکنش ژنوتیپ-محیط، نمایش گرافیکی تغییر عملکرد و ش در محیط‌های تحت مطالعه بر مبنای مدل‌های چندمتغیره و تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا با توجه به پاسخ‌های فنوتیپی متفاوت به محیط‌ها بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده در این آزمایش شامل ۱۵ ژنوتیپ پنبه با اسامی دلتاپاین ۲۵، N-200، SB35، بختگان، 84-39-T3، ورامین، مهر، سای اکرا، شیرپان ۶۰۳، SP731، ارمغان، ساحل، خرداد، اولتان و گلستان بود که در چهار منطقه بیرجند، کاشمر، کرج و شیراز طی سال زراعی ۱۳۹۶ تحت ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات جغرافیایی و هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقاتی به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر یک از مناطق مورد بررسی به اجرا درآمد. هر تکرار از ۱۵ کرت آزمایشی برخوردار بود. هر یک از کرت‌های آزمایشی دارای شش ردیف کشت به طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. ابتدا زمین کشت شخم زده شد و پس از آن نسبت به تسطیح و ایجاد ردیف‌های کشت اقدام گردید؛ سپس عمل کشت بذور به صورت دستی و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف انجام شد. در هر نقطه کشت بر روی ردیف‌ها، تعداد سه بذر

قرار داده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردید. کلیه اقدامات زراعی در مرحله داشت از جمله مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت پذیرفت. پس از اتمام فصل رشد، برداشت محصول به روش دستی از چهار ردیف کشت میانی با هدف حذف اثرات حاشیه‌ای انجام شد. عملکرد وش هر یک از ژنوتیپ‌های به‌وسیله ترازو دیجیتال با دقت هزار میلی‌گرم اندازه‌گیری گردید و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند.

برای بررسی همگنی خطا در آزمایش‌های مختلف آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها پس از معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ-محیط، با روش‌های چندمتغیره امی و GGE بای‌پلات انجام شد. به‌منظور انجام تجزیه پایداری به روش امی از نرم‌افزار SAS 9.3 بر اساس رابطه زیر استفاده گردید:

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge}$$

که در آن Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ g ام در محیط e ام در تکرار r ام، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی n ام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور g ام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور e ام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρ_{ge} مقدار نویز و ε_{ge} 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 بررسی شد. آماره ارزش پایداری امی (ASV^1) یکی از پارامترهای جدید مدل امی است که برای محاسبه آن از نرم‌افزار Excel طبق رابطه زیر استفاده شد:

$$AMMI\ Stability\ Value\ (ASV) = \sqrt{\left[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2} (IPCA1_{score})^2 + (IPCA2_{score})^2 \right]}$$

در این رابطه SSIPCA1 مربوط به مجموع مربعات اولین مؤلفه اصلی برهمکنش و SSIPCA2 مربوط به مجموع مربعات دومین مؤلفه اصلی برهمکنش است؛ IPCA1 و IPCA2 به ترتیب به مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ-محیط هر یک از ژنوتیپ‌ها مربوط می‌شود. برای محاسبه شاخص پایداری عملکرد (YSI) از نرم‌افزار Excel بر اساس رابطه زیر استفاده شد:

$$YSI = RASV + RY$$

که در آن RASV مربوط به رتبه ارزش پایداری امی و RY مربوط به رتبه میانگین عملکرد وش ژنوتیپ‌ها است. تجزیه گرافیکی به روش GGE biplot بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه زیر صورت گرفت:

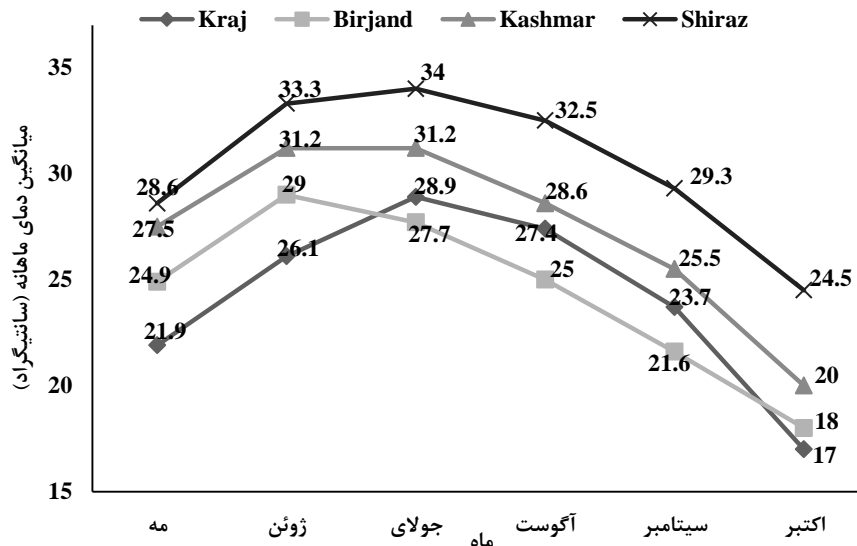
$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

1. AMMI Stability Value

بر اساس رابطه بالا Y_{ij} میانگین ژنوتیپ نام در محیط زام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط زام، λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، i_1 و i_2 بردارهای ویژه ژنوتیپی و η_1 و η_2 بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ نام در محیط زام هستند. تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات با نرم‌افزار GGE biplot بر مبنای شش الگوی: ۱. تعیین ژنوتیپ مطلوب هر منطقه، ۲. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر پایه میانگین عملکرد و پایداری، ۳. بررسی میزان همبستگی میان مناطق، ۴. شناسایی محیط‌های کلان، ۵. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها طبق ژنوتیپ ایده‌آل و ۶. رتبه‌بندی محیط‌ها طبق محیط ایده‌آل انجام شد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و میزان بارندگی مناطق اجرای آزمایش

منطقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی (دقیقه-درجه)	عرض جغرافیایی (دقیقه-درجه)	میزان ریزش باران (میلی‌متر)
بیرجند	۱۴۹۱	۵۹:۱۲	۳۲:۵۲	۸۴/۹۰
کاشمر	۱۱۰۹	۵۸:۲۸	۳۵:۱۲	۱۴۷/۱۰
کرج	۱۳۱۲	۵۰:۵۴	۳۵:۵۵	۱۵۹/۶۰
شیراز	۱۴۸۴	۵۲:۳۶	۲۹:۳۲	۶۵۹/۱۰



شکل ۱: میانگین دمای ماهانه مناطق اجرای آزمایش

نتایج و بحث

تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات برهمکنش ضرب‌پذیر: بررسی همگنی خطا در آزمایش‌های مختلف با آزمون بارلت انجام شد و نتایج آن مبین یکنواخت بودن خطای آزمایشی بود؛ لذا تجزیه واریانس روی داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش انجام گرفت و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شد. اثر محیط، وجود اختلاف بین محیط‌های مورد مطالعه را تأیید نمود. اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که مؤید وجود تنوع ژنتیکی میان ژرم‌پلاسما تحت مطالعه بود. نتیجه مربوط به اثر برهمکنش ژنوتیپ-محیط نشان داد که ژنوتیپ‌های تحت بررسی از عکس‌العمل یکسانی در محیط‌های مورد ارزیابی برخوردار نیستند، به عبارتی محیط روی ژنوتیپ‌ها تأثیرگذار بوده و سبب تغییر عملکرد نسبی و ش‌ها در هر یک از مکان‌ها شده است.

اثر ضرب‌پذیر ژنوتیپ-محیط به‌وسیله مدل امی به مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ با محیط تفکیک شد. نخستین مؤلفه اصلی ۶۲/۵۷ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ-محیط را تبیین نمود و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شد. دومین مؤلفه در حدود ۲۲ درصد از مجموع مربعات اثر ضرب‌پذیر را توجیه کرد، اما غیر معنی‌دار بود. این دو مؤلفه در مجموع حدود ۸۵ درصد تغییرات برهمکنش ژنوتیپ با محیط را تشکیل دادند. مدل امی با دو مؤلفه اصلی برهمکنش معنی‌دار بهترین مدل پیش‌بینی شده است (زوبل و همکاران، ۱۹۸۸؛ آنیس‌چاریکو و همکاران، ۲۰۰۶)، اما در مطالعه حاضر تنها مؤلفه اصلی اول تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان داد. سایر مؤلفه‌ها اصلی از تأثیر بسیار ناچیزی برخوردار بودند و به همین دلیل کمکی به پیش‌بینی و صحت مشاهدات نکردند و با یکدیگر ادغام شده و مجموع مربعات باقی‌مانده مدل امی با کم‌ترین میانگین مربعات غیر معنی‌دار را به وجود آوردند که نشان از دقت عمل قابل توجه مدل امی است (آنادان و اسواران، ۲۰۰۲). فتحی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی پایداری ژنوتیپ‌های پنبه، سهم مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ-محیط را به ترتیب ۴۹/۱۰ درصد و ۲۲/۵۰ درصد برآورد نمودند که این دو مؤلفه توانستند در مجموع ۷۱/۶۰ درصد تغییرات برهمکنش ژنوتیپ-محیط را به خود اختصاص دهند. مالیا و همکاران (۲۰۱۷) نیز در آزمایشی پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ پنبه را طی سه فصل در سه مکان مختلف موزامبیک ارزیابی نمودند و گزارش کردند که برهمکنش ژنوتیپ-محیط متشکل از پنج مؤلفه اصلی است و تنها دو مؤلفه اول بسیار تأثیرگذار بوده و مجموعاً نزدیک به ۸۰ درصد تغییرات برهمکنش را توجیه می‌نمایند.

در جدول ۳ میانگین عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها در چهار مکان تحت مطالعه و نیز میانگین عملکرد هر یک از مکان‌ها قابل مشاهده است. میانگین عملکرد و ش برای ژنوتیپ‌ها در بازه ۲۱۱۱ تا ۲۳۸۲ کیلوگرم در هکتار و برای محیط‌ها در بازه ۲۱۷۸ تا ۲۲۸۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. میانگین کل ژنوتیپ‌ها ۲۲۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. ژنوتیپ SB35 با میانگین عملکرد

۲۳۸۱/۳۰ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین میزان عملکرد وش بود. به دنبال آن ژنوتیپ‌های بختگان، ورامین و 84-39-T3 به ترتیب با میانگین عملکرد ۲۳۶۱/۹۰، ۲۳۳۸/۱۰ و ۲۳۳۷/۶۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را داشتند. ژنوتیپ‌ها در محیط‌های کرج (۲۲۸۷/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و کاشمر (۲۲۷۸/۹۸ کیلوگرم در هکتار) از بالاترین میانگین عملکرد وش برخوردار بودند (جدول ۳).

جدول ۲: تجزیه واریانس مرکب عملکرد وش ژنوتیپ‌های پنبه بر اساس روش امی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
محیط	۳	۴۴۲۱۵۶/۰۶	۱۴۷۳۸۵/۳۵*
بلوک (محیط)	۸	۸۰۶۷۳۱/۳۳	۱۰۰۸۴۱/۴۲
ژنوتیپ	۱۴	۱۲۸۲۲۷۹/۸۸	۹۱۵۹۱/۴۲**
برهمکنش ژنوتیپ-محیط	۴۲	۲۴۳۰۰۸۰/۹۴	۵۷۸۵۹/۰۷**
مؤلفه اصلی اول برهمکنش	۱۶	۱۶۹۶۲۱۳/۱۲	۱۰۶۰۱۳/۳۲**
مؤلفه اصلی دوم برهمکنش	۱۴	۵۹۹۰۷۲/۶۰	۴۲۷۹۰/۹۰ ^{ns}
باقیمانده (نویز)	۱۲	۴۱۵۲۳۴/۳۲	۳۴۶۰۲/۸۶ ^{ns}
خطا	۱۱۲	۳۰۲۹۲۲۲/۶۶	۲۷۰۴۶/۶۳
ضریب تغییرات (درصد)			۸/۵۷

*, ** و ^{ns}: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

طبق آماره ارزش پایداری امی ژنوتیپ‌هایی که از مقادیر پایین این آماره برخوردار باشند دارای پایداری بیشتری خواهند بود. بر این اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های دلتاپاین ۲۵، ورامین، SP731، اولتان و SB35 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها پایدارتر بودند. در این میان تنها ژنوتیپ‌های SB35 و ورامین عملکرد وش بالاتر از میانگین کل داشتند؛ بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالاتر از میانگین کل شناخته شدند. در مقابل بر مبنای ASV ژنوتیپ‌های N-200، بختگان و مهر به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). پرتریوس و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که بر اساس آماره ارزش پایداری امی ژنوتیپ‌های SZ9314 و Delta OPAL RR از درصد الیاف و ژنوتیپ‌های Delta OPAL RR و Delta OPAL از عملکرد فیبر پایداری برخوردار بودند.

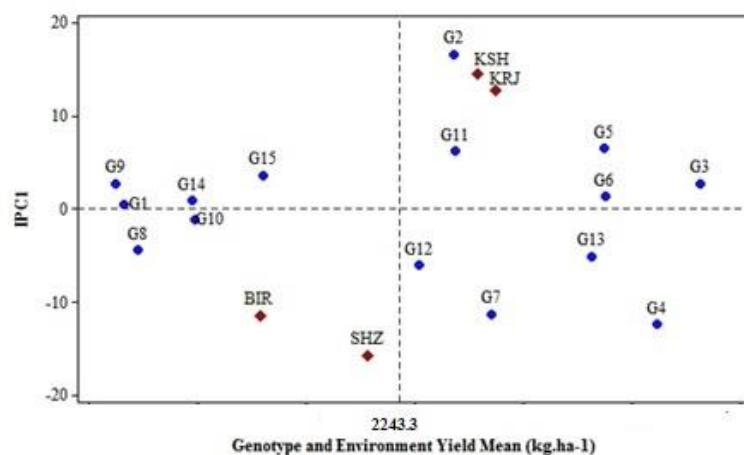
شاخص پایداری عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها با جمع شدن رتبه آماره ارزش پایداری امی و رتبه عملکرد آن‌ها حاصل گردید و در جدول ۳ آورده شد. هر ژنوتیپی که حداقل شاخص پایداری عملکرد را به خود اختصاص دهد، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ با میانگین عملکرد بالا شناخته می‌شود. پایداری ژنوتیپ‌های ورامین و SB35 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص بیشتر بود. ژنوتیپ‌های N-200 و شیرپان ۶۰۳ از بیشترین مقادیر شاخص پایداری عملکرد برخوردار بوده، لذا ژنوتیپ‌های ناپایدار بر اساس این شاخص معرفی شدند.

میانگین عملکرد وش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد. محور افقی میانگین عملکرد وش بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی مقادیر مربوط به مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ- محیط را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که برهمکنش زیادی داشته باشند از مقادیر مؤلفه اصلی بالایی (مثبت یا منفی) برخوردار خواهند بود. در مقابل ژنوتیپ‌هایی که اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر و یا صفر داشته باشند، دارای برهمکنش بسیار پایین و یا بدون برهمکنش خواهند بود. بر اساس این بای‌پلات (شکل ۲) ژنوتیپ‌های N-200، بختگان و مهر و تمامی محیط‌های مورد بررسی از برهمکنش بسیار بالایی برخوردار بودند. محیط‌های تحت مطالعه به دلیل برهمکنش بالا، تفاوت میان ژنوتیپ‌ها را بهتر به نمایش گذاشته و بسیار مفید هستند.

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش، آماره ارزش پایداری امی و شاخص پایداری عملکرد

کد ژنوتیپ/محیط	ژنوتیپ/محیط	عملکرد وش (کیلوگرم در هکتار)	اولین مؤلفه اصلی اثر برهمکنش	دومین مؤلفه اصلی اثر برهمکنش	آماره ارزش پایداری امی	شاخص پایداری عملکرد
G1	دلناپاین ۲۵	۲۱۱۶/۰۸d	۰/۳۹	-۱/۲۳	۱/۶۶	۱۵
G2	N-200	۲۲۶۷/۸۳b	۱۶/۵۸	۰/۸۳	۴۶/۹۴	۲۳
G3	SB35	۲۳۸۱/۳۰a	۲/۷۱	-۰/۸۰	۷/۷۱	۶
G4	بختگان	۲۳۶۱/۹۰ab	-۱۲/۵۰	۲/۳۵	۳۵/۳۳	۱۶
G5	84-39-T3	۲۳۳۷/۶۰ab	۶/۴۶	۴/۳۴	۱۸/۸۰	۱۴
G6	ورامین	۲۳۳۸/۱۰ab	۱/۲۹	-۲/۶۹	۴/۵۵	۵
G7	مهر	۲۲۸۵/۳۳b	-۱۱/۳۰	۲/۲۱	۳۲/۱۰	۱۹
G8	سای اکرا	۲۱۲۲/۳۲d	-۴/۴۷	-۰/۵۹	۱۲/۶۷	۲۰
G9	شیرپان ۶۰۳	۲۱۱۱/۹۲d	۲/۶۷	۱۱/۷۹	۱۴/۰۲	۲۳
G10	SP731	۲۱۴۸/۵۸cd	-۱/۲۳	۵/۳۷	۶/۴۰	۱۴
G11	ارمغان	۲۲۶۸/۵۸b	۶/۱۴	-۱۰/۴۰	۲۰/۲۵	۱۹
G12	ساحل	۲۲۵۱/۸۳b	-۶/۱۰	-۱۰/۴۰	۱۹/۳۸	۲۰
G13	خرداد	۲۳۳۱/۳۰ab	-۵/۱۳	۰/۹۰	۱۴/۵۴	۱۴
G14	اولتان	۲۱۴۷/۱۷cd	۰/۸۸	-۶/۵۹	۷/۰۵	۱۶
G15	گلستان	۲۱۷۹/۹۲c	۳/۵۵	۳/۲۲	۱۰/۵۶	۱۶
BIR	بیرجند	۲۱۷۸/۴۷c	-۱۱/۵۰	-۹/۸۹	۳۳/۹۵	۵
KSH	کاشمر	۲۲۷۸/۹۸a	۱۴/۵۰	۱۱/۸۹	۴۲/۷۵	۵
KRJ	کرچ	۲۲۸۷/۵۳a	۱۲/۷۲	-۱۱/۱۴	۳۷/۷۰	۳
SHZ	شیراز	۲۲۲۸/۳۱b	-۱۵/۷۵	۹/۱۵	۴۵/۵۳	۷

در خصوص ژنوتیپ‌ها، اگر ژنوتیپی کم‌تر تحت تأثیر محیط قرار گیرد، به عبارتی از برهمکنش پایینی برخوردار باشد، مطلوب‌تر است و پایداری بیشتری خواهد داشت. ژنوتیپ‌های دلتاپاین ۲۵، اولتان، SP731، ورامین، SB35 و شیرپان ۶۰۳ دارای برهمکنش نزدیک به صفر بوده، اما در این میان ژنوتیپ‌های ورامین و SB35 علاوه بر برهمکنش پایینی ژنوتیپ- محیط دارای عملکرد وش بالاتر از میانگین کل بودند، به طوری که به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناخته شدند.



شکل ۲: بای پلات میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش

تجزیه گرافیکی بای پلات: به‌منظور بررسی و تفسیر تنوع ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و برهمکنش ژنوتیپ- محیط از تجزیه گرافیکی بای پلات بر مبنای مدل‌های چندمتغیره استفاده شد (شکل ۳). این نمودارها ۷۷/۴۴ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نمودند به طوری که ۴۱/۹۷ درصد متعلق به مؤلفه اول و ۳۵/۴۷ درصد متعلق به مؤلفه دوم بود. به دلیل اینکه این دو مؤلفه بیش از ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نمودند، بنابراین می‌توان از آن‌ها در شناسایی محیط‌های کلان^۱ نیز استفاده کرد (یان و همکاران، ۲۰۰۰). طبق نظر یان و تینکر (۲۰۰۵) با توجه به این که دو مؤلفه توانسته‌اند بیشتر تغییرات را توجیه کنند، لذا ماهیت برهمکنش ژنوتیپ- محیط چندان پیچیده نیست. فتحی و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه‌ای که بر روی پایداری و سازگاری ۴۰ ژنوتیپ پنبه انجام دادند، بیان کردند که دو مؤلفه اول در مجموع بیش از ۷۴ درصد تغییرات مربوط به ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ- محیط را تبیین می‌کنند که از این میزان سهم هر یک از مؤلفه‌های اول و دوم به ترتیب برابر با ۴۴/۵۰ درصد و ۳۰/۳۰ درصد

1. Mega- Environment

بود. در آزمایشی دیگر بر روی ۱۰ ژنوتیپ پنبه در هفت منطقه از زیمباوه طی دو سال زراعی، مشخص شد که مؤلفه‌های اول و دوم جمعاً ۶۷/۷۰ درصد از تنوع داده‌ها را تبیین می‌کنند. در این میان میزان واریانس توجیه‌شده هر مؤلفه به ترتیب ۵۳/۶۷ درصد و ۱۴/۰۴ درصد برآورد گردید (موکویی و همکاران، ۲۰۱۸).

نمودار چندضلعی برای تعیین ژنوتیپ‌های مطلوب در محیط‌های مختلف و شناسایی ابر محیط‌ها به کار گرفته شد (شکل ۳- A). در این نمودار ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ مختصات دارند، به یکدیگر متصل شده و یک چندضلعی را پدید می‌آورند، سپس از مبدأ مختصات خطوطی عمود بر اضلاع این چندضلعی رسم می‌شود و محیط‌های کلان مشخص می‌گردند (یان و همکاران، ۲۰۰۱). ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌هایی که در یک بخش مشترک با مکان قرار گرفته باشند، در آن محیط عملکرد مطلوبی داشته و سازگاری خصوصی بالایی با آن محیط/ها خواهند داشت. بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌های SB35، بختگان، مهر، سای اکرا، شیرپان ۶۰۳ و N-200 در رأس این چندوجهی قرار گرفتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. در شناسایی محیط‌های کلان دو منطقه بیرجند و شیراز در یک محیط کلان قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های بختگان و مهر به این علت که در رئوس این بخش قرار دارند، دو ژنوتیپ بسیار مطلوب برای این دو محیط بودند. دو منطقه کرج و کاشمر نیز در یک بخش مشابه قرار گرفتند و به‌عنوان محیط کلان دوم شناخته شدند. ژنوتیپ N-200 به علت قرار گرفتن در رأس این محیط کلان به‌عنوان ژنوتیپ سازگار برای دو مکان کرج و کاشمر معرفی شد. پس از آن (ژنوتیپ N-200)، ژنوتیپ‌های 84-39-T3 و ارمغان نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها جهت کشت در کرج و شیراز مناسب‌تر می‌باشند. با شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های برخوردار از سازگاری خصوصی با محیط‌های کلان می‌توان برهمکنش ژنوتیپ- محیط را کاهش و تولید محصول را افزایش داد. در مجموع طبق این بای‌پلات و بای‌پلات تعیین محیط‌های کلان (شکل ۳- D)، مکان‌های تحت مطالعه در دو محیط کلان دسته‌بندی شدند. محیط کلان اول شامل بیرجند و شیراز و محیط کلان دوم شامل کرج و کاشمر بود. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک مبدأ قرار دارند به تغییر محیط و یا محیط‌هایی که نزدیک مبدأ قرار دارند به تغییر ژنوتیپ واکنش زیادی نشان نمی‌دهند. در این مطالعه محیط یا ژنوتیپی که به مبدأ مختصات نزدیک باشد وجود نداشت. ژنوتیپ‌های SB35، سای اکرا، شیرپان ۶۰۳، دلتاپاین ۲۵، SP731، ورامین، اولتان و گلستان در بخش‌هایی قرار گرفتند که هیچ محیطی وجود ندارد، لذا این ژنوتیپ‌ها در هیچ‌یک از محیط‌های مورد بررسی برتری نداشتند و جز ژنوتیپ‌های ضعیف در تمامی محیط‌های تحت مطالعه بودند.

از نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط^۱ زمانی که مطالعه هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها مد نظر باشد، استفاده می‌شود (یان و کنگ، ۲۰۰۳). نام دیگر این نمودار بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری می‌باشد (یان و همکاران، ۲۰۰۷). نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات، از روش‌های مفید در تجزیه پایداری محسوب می‌شود (کایا، ۲۰۰۶). در این نمودارهای بای‌پلات محور افقی (PC1) معرف اثر اصلی ژنوتیپ و محور عمودی (PC2) معرف اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط می‌باشد. از مبدأ مختصات خطی بر میانگین مکان‌ها رسم می‌شود (محل میانگین مکان‌ها با دایره مشخص شده است)، این خط محور میانگین مکان‌ها نام دارد. ژنوتیپ‌هایی که در ابتدای مثبت این محور قرار دارند دارای عملکرد بیشتری هستند و بالعکس ژنوتیپ‌هایی که در قسمت منفی قرار گرفته‌اند، از عملکرد پایینی برخوردار می‌باشند؛ بنابراین بر اساس این بای‌پلات ترتیب ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد از بیش‌ترین به کم‌ترین عبارت از SB35، بختگان، 84-39-T3، ورامین، خرداد، مهر، N-200، ارمغان، ساحل، گلستان، اولتان، SP731، سای اکرا، دلتاپاین ۲۵ و شیرپان ۶۰۳ بود. خطی که از مبدأ گذشته و روی محور میانگین محیط‌ها عمود شده است نشانگر متوسط عملکرد و ژنوتیپ‌ها است؛ ژنوتیپ‌های دارای عملکرد و ش بالاتر از متوسط در سمت راست محور و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد و ش پایین‌تر از متوسط در سمت چپ محور قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به محور میانگین محیط‌ها قرار دارند از پایداری بیشتری برخوردار هستند، به بیان شیواتر ژنوتیپ‌هایی که فاصله عمود آن‌ها از محور میانگین محیط‌ها کمتر باشد، پایدارتر می‌باشند. بر این اساس ژنوتیپ‌های ورامین، دلتاپاین ۲۵، اولتان، شیرپان ۶۰۳، SP731 و گلستان نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها پایدارتر هستند. به‌طور کلی ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ قرار دارند از پایداری بیشتری برخوردار بوده به عبارتی به تغییر محیط واکنش زیادی نشان نمی‌دهند. یک رقم ایده‌آل باید اولاً عملکرد بالایی داشته باشد و ثانیاً از پایداری بیشتری برخوردار باشد، به عبارتی نزدیک به انتهای مثبت محور میانگین محیط‌ها باشد و بیرون‌زدگی آن از این محور حداقل باشد؛ بر این اساس ژنوتیپ ورامین بهترین ژنوتیپ می‌باشد. این ژنوتیپ به‌عنوان یک معیار می‌تواند برای ارزیابی سایر ژنوتیپ‌ها استفاده شود. هرچقدر فاصله یک ژنوتیپ از این ژنوتیپ کمتر باشد ژنوتیپ مناسب‌تری می‌باشد (شکل ۳- B).

در نمودار بای‌پلات همبستگی و روابط میان محیط‌ها (شکل ۳- C) خطوطی از مبدأ مختصات به نقاط محیط‌ها رسم می‌شود. هر اندازه زاویه میان بردارهای محیط‌ها کم‌تر باشد، بین محیط‌ها همبستگی بالایی وجود خواهد داشت. در واقع بالا بودن همبستگی بین محیط‌ها به معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها می‌باشد. به‌طور کلی کسینوس زاویه بین بردارها

1. Average Environment Coordinate

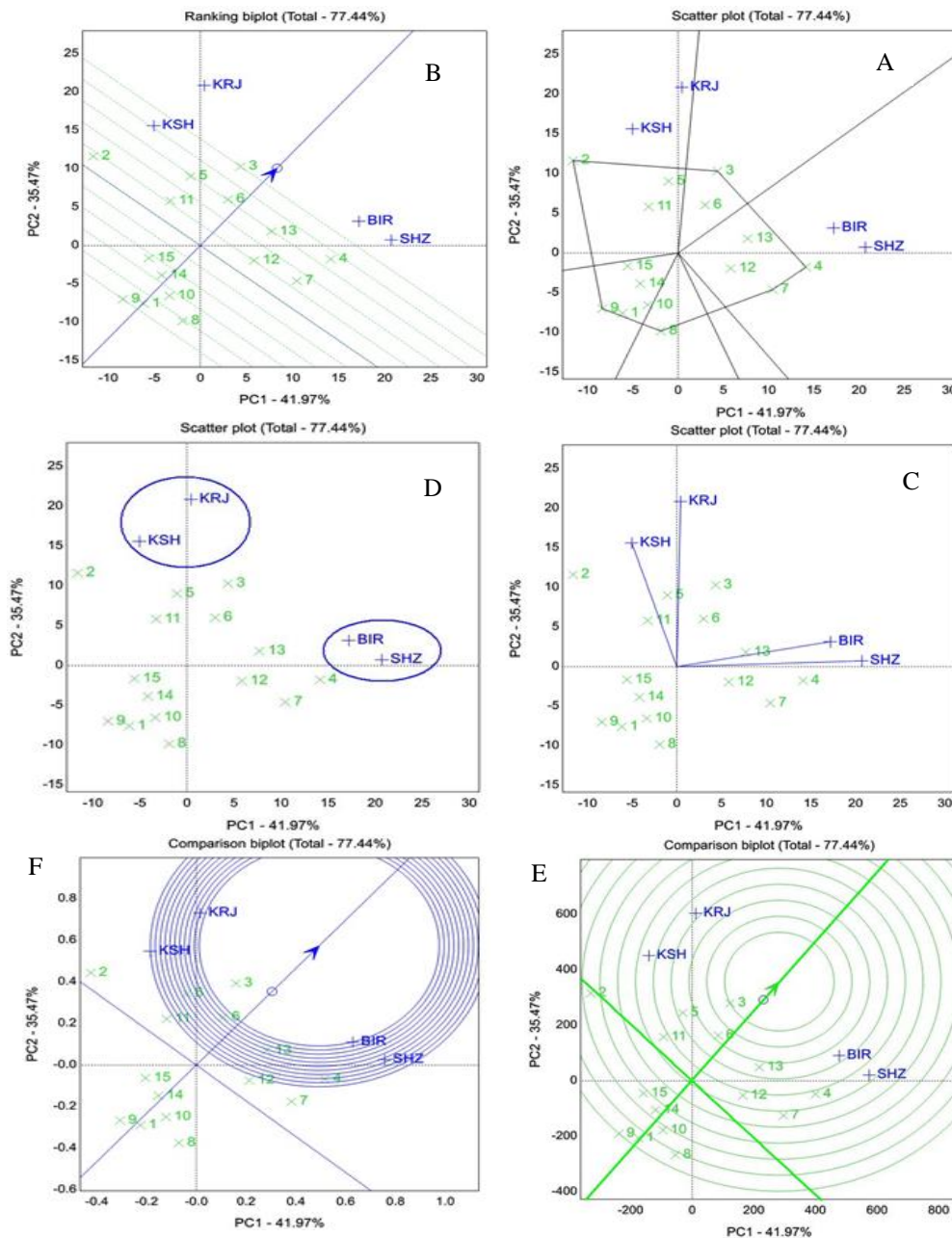
تعیین‌کننده میزان همبستگی است. در زاویه بین برداری کوچک‌تر از ۹۰ درجه، همبستگی مثبت و در زاویه بین برداری بزرگ‌تر از ۹۰ درجه، همبستگی منفی خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیانگر این است که بین محیط‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند. بر اساس این بای‌پلات (شکل ۳- C) بین مکان‌های کرج با کاشمر و بیرجند با شیراز همبستگی بالایی مشاهده شد که این موضوع مبین پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها است، لذا نتیجه‌گیری می‌شود که میان رتبه عملکرد و این ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود. کرج با شیراز و کاشمر با بیرجند همبستگی تقریباً نزدیک به صفر داشتند، این امر نمایانگر عدم تشابه این محیط‌ها از لحاظ تولید و ش می‌باشد، به‌بیان دیگر ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها روند عملکرد مستقلی را داشتند. محیط‌های کاشمر و شیراز دارای همبستگی منفی با یکدیگر بودند، بنابراین ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها روندی خلاف هم خواهند داشت. از مزایای دیگر این بای‌پلات می‌توان به تعیین ابر محیط‌ها و نیز کاهش هزینه‌های آزمایش با حذف محیط‌های مشابه اشاره نمود (یان و همکاران، ۲۰۰۳). مکان‌های کرج با کاشمر و بیرجند با شیراز دارای همبستگی نزدیکی بودند؛ بنابراین توصیه می‌شود که در هر یک از محیط‌های بزرگ یکی از مکان‌ها به‌منظور کاهش هزینه‌ها در تحقیقات آینده استفاده شود. مزیت مهم دیگر این بای‌پلات، طول بردار محیط‌ها می‌باشد که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است و نیز به‌عنوان شاخصی جهت قابلیت تمایز محیط‌ها می‌باشد، به این صورت که بردارهای بلندتر از انحراف معیار بالاتر برخوردار بوده و بنابراین قابلیت تمایز بیشتری دارند (یان و کنگ، ۲۰۰۳). یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط قابلیت تمایز آن می‌باشد به‌نحوی که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفید و سودمندی در مورد ژنوتیپ‌های استفاده‌شده در آزمایش ارائه نمایند (یان و کنگ، ۲۰۰۳). بررسی بردارهای محیط‌ها مؤید آن بود که محیط‌های کرج و شیراز دارای طول بردارهای بلندی بودند که نشان‌دهنده قابلیت تمایز بالای این محیط‌ها است. محیط‌های بیرجند و کاشمر به علت دارا بودن طول بردار کوتاه‌تر نسبت به سایر محیط‌ها قابلیت تمایز کم‌تری داشتند. در نهایت مطالعه بای‌پلات همبستگی محیط‌ها نشان داد که بیش‌تر محیط‌های مورد آزمایش دارای قابلیت تمایز بالایی بودند و می‌توانند در آزمایش‌های مطالعه برهمکنش ژنوتیپ- محیط در پنبه میان ژنوتیپ‌ها تمایز قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمایند.

شکل ۳- E رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل نشان می‌دهد. به این منظور از مبدأ مختصات خطی به نقطه میانگین محیط‌ها وصل می‌شود و به طرفین امتداد می‌یابد. در این شکل ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ در مرکز دوایر هم‌مرکز می‌باشد که با علامت پیکان مشخص شده است. سایر ژنوتیپ‌ها بر اساس این ژنوتیپ سنجیده می‌شوند. بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپی است که فاصله کمتری از مرکز دوایر متحدالمرکز داشته باشد. بر این اساس ترتیب ژنوتیپ‌ها از ایده‌آل‌ترین تا غیر ایده‌آل‌ترین حالت عبارت از SB35، بختگان، 84-39-T3، ورامین، خرداد، مهر، N-200، ارمغان، ساحل، گلستان،

اولتان، SP731، سای اکرا، دلتاپاین ۲۵ و شیرپان ۶۰۳ بود. در شکل ۳-F رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل قابل مشاهده می‌باشد. در این بای‌پلات نیز همانند بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل از مبدأ مختصات خطی به نقطه میانگین محیط‌ها وصل می‌شود و به طرفین ادامه می‌یابد. بهترین محیط با توجه به این بای‌پلات محیطی است که به مرکز دوایر نزدیک‌تر باشد. بر اساس این تعریف ترتیب قرارگیری محیط‌ها از ایده‌آل‌ترین تا غیر ایده‌آل‌ترین حالت عبارت از بیرجند، کرج، شیراز و کاشمر بود. موکویی و همکاران (۲۰۱۸) ۱۰ ژنوتیپ پنبه را طی دو سال در هفت منطقه مورد کشت و ارزیابی قرار دادند. در نهایت اظهار کردند که به ترتیب ژنوتیپ‌های SZ-95-23، CRI-MS-2 و SZ-9314 ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ایستگاه تحقیقاتی چیسومبانج^۱ ایده‌آل‌ترین محیط بود.

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های چندمتغیره امی و GGE بای‌پلات به منظور مطالعه برهمکنش ژنوتیپ-محیط و نیز شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار در آزمایش‌های ناحیه‌ای بسیار مفید بوده و اطلاعات ارزشمندی را در اختیار قرار می‌دهند. با توجه به نتایج حاصل از این روش‌ها چنین بیان می‌شود که عملکرد و ژنوتیپ‌های پنبه در محیط‌های مختلف از برهمکنش ژنوتیپ-محیط تأثیر می‌پذیرد و سبب تغییر رتبه عملکرد و ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف می‌شود؛ لذا جهت افزایش تولید پنبه باید ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی با مناطق مستعد کشت پنبه شناسایی شوند و در نتیجه با انجام این عمل، برهمکنش میان ژنوتیپ و محیط کاهش یافته و عملکرد به بیشترین میزان ممکن افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر مکان‌های تحت بررسی از لحاظ شرایط محیطی قابل پیش‌بینی و غیر قابل پیش‌بینی در دو محیط بزرگ قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی با هر یک از این محیط‌های بزرگ شناسایی شدند. محیط بزرگ اول دو مکان بیرجند و شیراز را در بر گرفت که در آن ژنوتیپ‌های بختگان و مهر بیشترین سازگاری خصوصی را داشتند. ژنوتیپ N-200 دارای سازگاری خصوصی با محیط بزرگ دوم (کرج و کاشمر) بود. ژنوتیپ SB35 بر اساس مشاهدات به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد.



شکل ۳ - A: نمودار بای پلات چندضلعی، B: نمودار بای پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری، C: نمودار بای پلات بررسی روابط بین محیط‌ها، D: نمودار بای پلات محیط‌های کلان، E: نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و F: نمودار رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل

منابع

1. Anandan, A., and Eswaran, R. 2009. Genotype by environment interactions of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the east coast saline region of Tamil Nadu. In the Proceedings of 2nd International Rice Congress pp: 226.
2. Annicchiarico, P., Russi, L., Piano, E., and Veronesi, F. 2006. Cultivar adaptation across Italian locations in four turf grass species. *Crop Science*, 46: 264–272.
3. Campbell, B.T., and Jones, M.A. 2005. Assessment of cultivar x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica*, 144: 69-78.
4. Dehghani, H., Ebadi, A., and Yousefi, A. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for Barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98: 388-393. 2006.
5. Ebdon, J.S., and Gauch, H.G. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype environment interaction. *Crop Science*, 42: 489-496.
6. Farshadfar, E., Mohammadi, M., Aghaee, M., and Vaisi, Z. 2012. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6): 1074–1079.
7. Fathi Sadabadi, M., Ranjbar, G.A., Zangi, M.R., Kazemi Tabar, S.K., and Najafi Zarini, H. 2018. Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using GGE biplot method. *Trakia Journal of Sciences*, 1: 51-61. doi:10.15547/tjs.2018.01.009
8. Gebremedhin, W., Firew, M., and Tesfye, B. 2014. Stability analysis of food barley genotypes in northern Ethiopia. *African Crop Science Journal*, 22(2): 145-153.
9. Janila, P., Nigam, S.N., Pandey, M.K., Nagesh, P., and Varshney, R.K. 2013. Groundnut improvement: use of genetic and genomic tools. *Frontiers in Plant Science*. February 25; 4a23. doi:10.3389/fpls.2013. 00023.
10. Kaya, Y., Akcura, M., and Taner, S. 2006. GGE- biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal Agriculture Forestry*, 30: 325-337.
11. Kempton, R.A. 1984. The use of biplot in interpreting variety by environment interaction. *J. Agric. Sci. Cambridge*, 122: 335- 342.
12. Kendal, E. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Ekin Journal*, 2(1): 90-99.
13. Khan, N.G., Naveed, M., and Khan, N.I. 2008a. Assessment of some novel upland cotton genotypes for yield constancy and malleability. *Int. J. Agri. Biol.*, 10: 109-111.

14. Khan, N.G., Naveed, M., Khan, N.I., and Iqbal, M.S. 2008b. Assessment of new upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes for yield stability and adaptability. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6: 1012-1015.
15. Khomari, A., Mostafavi, Kh., and Mohammadi, A. 2017. Stability Study of Yield in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars using AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 9(23): 117-124. (In Persian).
16. Khomari, A., Mostafavi, Kh., and Mohammadi, A. 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>
17. Ma'ali, S.H. 2008. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of maize yield trials in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 25: 185-193.
18. Makumbi, D., Diallo, A., Kanampiu, K., Mugo, S., and Karaya, H. 2015. Agronomic performance and genotype x environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. *Crop Science*, 55: 540-555.
19. Maleia, M.P., Raimundo, A., Moiana, L.D., Teca, J.O., Chale, F., Jamal, E., Dentor, J.N., and Adamugy, B.A. 2017. Stability and adaptability of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes based on AMMI analysis. *Australian journal of Crop Science*, 11(04): 367-372.
20. Mohammadi, R., and Amri, A. 2011. Cultivar x environment interaction for durum wheat grain yield and selection for drought tolerance in irrigated and droughted environments. *Journal of Crop Science and Biotechnology.*, 14: 265-274.
21. Mohammadi, R., Armion, M., Esmail zad, H., Ahmadi, M.M., and Sadegh zadeh ahari, D. 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).
22. Mostafavi, Kh., Shojaei, H., Khodarahmi, M., and Mohammadi, A. 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.
23. Mukoyi, F., Gasura, E., and Makunde, G.S. 2018. Implications of correlations and genotype by environment interaction among cotton traits. *African Crop Science Society*, 26(2): 219-235.
24. Nassir, A.L., and Ariyo, O.J. 2011. Genotype x Environment interaction and yield-stability analysis of rice grown in tropical inland swamp. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1): 220-225.
25. Naveed, M., Iqbal, M.S., Mukhtar, N., and Khan, N.I. 2006. Genotype environment interaction and phenotypic stability analysis for seed cotton yield

- in *Gossypium hirsutum* L. genotypes. *Caderno de Pesquisa Série Biologia*, 18(1): 87-97.
26. Naveed, M., Nadeem, M., and Khan, N.I. 2007a. AMMI analysis of some upland cotton genotypes for yield stability in different milieus. *World. J. Agri. Sci.*, 3(1): 39-44.
27. Naveed, M., Rahman, H., and Nadeem, M. 2007b. Evaluation of Okra-leaf Pak-upland cottons (*Gossypium hirsutum* L.) for yield stability across environments. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(1): 45-49.
28. Omrani, S., Naji, A.M., and Esmaeil Zadeh Moghadam, M. 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).
29. Omrani, S., Naji, A.M., and Esmaeil Zadeh Moghadam, M. 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., Omrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji, S., and Foroozesh, P. 2019. Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. *Journal of Crop Breeding*, 11(31): 153-163.
31. Pretorius, M.M., Allemann, J., and Smith, M.F. 2015. Use of the AMMI model to analyze cultivar-environment interaction in cotton under irrigation in South Africa. *African Journal of Agriculture*, 2(2): 76-80.
32. Purchase, J. L., Hatting, H., and Van-Deventer, C.S. 2000. Cultivar x environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17: 101-107.
33. Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Mahmood, A., Rafiq, Ch.M., Nadeem, M., and Sadiq, A. 2013. AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Science*, 23(3): 865-871.
34. Sabaghnia, N., Dehghani, H., and Sabaghpour, S.H. 2008. Graphic Analysis of Genotype by Environment Interaction for Lentil Yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100: 760-764. (in Persian)
35. Sadeghi, S.M., Samizadeh, H., Amiri, E., and Ashouri, M. 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.

36. Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., Mc-Clung, A.M., and Medley, J.C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45: 2414-2424.
37. Stiff, M.R., and Haigler, C.H. 2012. Recent advances in cotton fiber development. Flowering and fruiting of cotton, Number eight. The cotton foundation reference book series.
38. Yan, W., and Kang, M.S. 2003. GGE-biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
39. Yan, W., and Tinker, N.A. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype \times environment interaction. *Crop Science*, 45: 1004-1016.
40. Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J., and Hunt, L.A. 2001. Two type of GGE bipots for analyzing multi-environmental trial data. *Crop Science*, 41: 656-663.
41. Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40: 597-605.
42. Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius, P.L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47: 643-655.
43. Zobel, R.W., Wright, M.J., and Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80: 388-393.