



## مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ‌های ذرت به روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر و روش GGE بای‌پلات

خداداد مصطفوی<sup>۱\*</sup>، علی صارمی‌راد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران  
<sup>۲</sup>دانش‌آموخته دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط یکی از مهم‌ترین عامل‌های ایجادکننده محدودیت در برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود. هدف از پژوهش حاضر تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط برای عملکرد دانه ذرت در شرایط آب و هوایی متفاوت جهت شناسایی ارقام سازگار و پایدار برای محیط‌های مورد مطالعه بر اساس مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر و روش گرافیکی GGE بای‌پلات بود.

**مواد و روش‌ها:** تعداد ۱۲ ژنوتیپ ذرت دانه‌ای به منظور مطالعه پایداری و سازگاری در چهار محیط (اراک، بیرجند، شیراز و کرج) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام شد. از روش‌های تجزیه پایداری امی و GGE بای‌پلات جهت تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط عملکرد دانه استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس امی حاکی از معنی‌دار بودن اثر محیط و اثر ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط در سطح احتمال ۵ درصد بود. تجزیه اثرات ضرب‌پذیر نشان داد که تنها مؤلفه اول برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و به‌تنهایی حدود ۶۳ درصد از واریانس برهم‌کنش را تبیین می‌نماید. بای‌پلات حاصل از میانگین عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و اولین مؤلفه اصلی برهم‌کنش مؤید برتری ژنوتیپ ۶ به دلیل دارا بودن عملکرد دانه و پایداری بالا نسبت به سایر ژنوتیپ‌های تحت بررسی بود. نتایج به‌دست‌آمده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۶/۹۷ و ۲۰/۵۷ درصد و مجموعاً ۸۷/۵۳ درصد از تغییرات کل موجود در داده‌های عملکرد دانه را توجیه می‌کند. بای‌پلات بررسی و مقایسه محیط‌ها نشان‌دهنده واکنش مشابه محیط‌های اراک، بیرجند و شیراز از نظر رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بود. نمودار بای‌پلات چند ضلعی محیط‌های تحت بررسی را در یک ابر محیط قرار داد که در آن تنها ژنوتیپ ۶ پایدار بود. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل فرضی ژنوتیپ ۶ از لحاظ هر دو جنبه پایداری و میانگین عملکرد دانه مطلوب‌تر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود و سازگاری عمومی زیادی در همه محیط‌های تحت مطالعه از خود نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه با استفاده از روش‌های چندمتغیره مؤید تأثیر بسزای اثر محیط بر عملکرد دانه در ذرت بود. ژنوتیپ‌های مورد بررسی تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. این تنوع ژنتیکی میان ژنوتیپ‌ها به‌اندازه‌ای بود که تقریباً

\*نویسنده مسئول: mostafavi@kiaou.ac.ir

دو برابر عامل محیط در توجیه واریانس کل نقش داشت. نتایج حاصل از هر دو روش ژنوتیپ ۶ (KSC704) را به عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کردند. این ژنوتیپ در هر چهار محیط تحت مطالعه بهترین ژنوتیپ بود.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری، ذرت، سازگاری، محیط بزرگ.

### مقدمه

گیاه ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان به شمار می‌رود. این گیاه سهم عمده‌ای از مواد غذایی مصرفی مردم جهان را تأمین می‌نماید (۱۰، ۱۴، ۱۷). ذرت به همراه گندم و برنج در حدود ۳۰ درصد از انرژی ۴/۵ میلیارد جمعیتی که در ۹۴ کشور در حال توسعه زندگی می‌کنند، را تأمین می‌کند. در این کشورها بیش از یک سوم کودکان دچار سوء تغذیه هستند (۹، ۲۰). بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی در کشورهای در حال توسعه تقاضا برای ذرت تقریباً دو برابر تقاضای کنونی خواهد شد (۳). بنابراین، اصلاح این گیاه با هدف بهبود عملکرد دانه اهمیت به‌سزایی دارد. عملکرد دانه شامل اثر اصلی ژنوتیپ، اثر اصلی محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط است. عملکرد با توجه به ماهیت پلی‌ژنیک آن شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد و تغییرات بالایی در آن ایجاد می‌شود. قبل از آزادسازی ژنوتیپ‌ها طی آزمایش‌های ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها، جهت‌گزینش ژنوتیپ برتر هر منطقه، اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط بررسی می‌شود.

مطالعه جامع برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط نیاز به روش‌های آماری قدرتمندی دارد. روش‌های متفاوتی برای ارزیابی اثر برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به‌وسیله محققین مختلف ارائه شده‌است که به‌طور کلی در دو گروه اصلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شوند. در میان روش‌های چندمتغیره مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهم‌کنش ضرب‌پذیر (AMMI) و مدل GGE بای‌پلات از اهمیت بالایی

برخوردار هستند. روش AMMI در واقع ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. بخش اول مدل AMMI یعنی بخش جمع‌پذیر از تجزیه واریانس استفاده می‌کند (۸) و بخش دوم که قسمت ضرب‌پذیر مدل AMMI را شامل می‌شود از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به یک تا  $n$  مؤلفه اصلی استفاده می‌نماید (۷). در حقیقت دلیل استفاده گسترده از این مدل قدرت تفکیک بالای اثرات اصلی و برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط و نیز توجیه بخش بزرگی از مجموع مربعات برهم‌کنش می‌باشد (۴).

مدل گرافیکی GGE biplot بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد گردیده است (۶، ۷، ۱۳، ۲۶). این روش از طریق نمایش گرافیکی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به اصلاح‌گر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف را بررسی نماید. استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های اصلاحی را به‌سادگی میسر می‌سازد (۲۵). در واقع مفهوم GGE از اثرات اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط گرفته شده است (۲۳). از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی محصولات مختلف است. با استفاده از GGE بای‌پلات محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند (۱۵). ویژگی منحصر به فرد GGE بای‌پلات این است که به استناد نمودارهای حاصل

بارتلت انجام شد. سپس داده‌ها، برای انجام تجزیه پایداری به روش امی طبق رابطه ۱ استفاده شدند.

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در رابطه ۱،  $Y_{ger}$  عملکرد ژنوتیپ گام در محیط مام در تکرار  $t$  است،  $\mu$  میانگین کل آزمایش،  $\alpha_g$  و  $\beta_e$  به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط،  $\lambda_n$  مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی  $n$  مام،  $\alpha_{gn}$  بردار ویژه ژنوتیپ برای محور گام از  $n$  مؤلفه اصلی برهم کنش،  $\gamma_{en}$  بردار ویژه محیط برای محور مام از  $n$  مؤلفه اصلی برهم کنش،  $\rho_{ge}$  مقدار نویز و  $\varepsilon_{ge}$  مربوط به خطا می‌باشد. با انجام تجزیه واریانس امی مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد و با رسم بای‌پلات‌های آن‌ها، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین گردید. همچنین، آماره  $ASV^1$  که ارزش پایداری امی نامیده می‌شود با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۸، ۱۹).

رابطه ۲:

$$ASV_i = \frac{SSIPCA1}{\sqrt{[SSIPCA2 + (IPCA1_{score})^2] + (IPCA2_{score})^2}}$$

در این رابطه  $SSIPCA_1$  و  $SSIPCA_2$  به ترتیب مجموع مربعات مؤلفه‌های اصلی برهم کنش اول و دوم،  $IPCA_1$  و  $IPCA_2$  به ترتیب مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم برهم کنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها است (رابطه ۲).

تجزیه گرافیکی با روش GGE biplot بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه ۳ انجام شد.

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \zeta_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \zeta_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در رابطه ۳  $Y_{ij}$  میانگین ژنوتیپ مام در محیط مام،  $\mu$  میانگین کل ژنوتیپ‌ها،  $\beta_j$  اثر اصلی محیط مام،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه،  $\zeta_{i1}$  و  $\zeta_{i2}$  بردارهای ویژه ژنوتیپی و  $\eta_{j1}$  و  $\eta_{j2}$  بردارهای محیطی

می‌توان اظهار نمود که کدام ژنوتیپ در کدام محیط یا زیر گروه از پتانسیل بالاتری برخوردار می‌باشد (۵).

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های پر محصول و پایدار ذرت با به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره اثرات اصلی افزایشی و برهم کنش ضرب‌پذیر (AMMI) و روش گرافیکی GGE بای‌پلات به مرحله اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۵ در چهار محیط (اراک، بیرجند، شیراز و کرج) انجام شد. مشخصات کامل مکان‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه گردیده است.

تعداد ۱۲ ژنوتیپ ذرت (جدول ۲) که از مؤسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بود، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در هر آزمایش تحت مطالعه قرار گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کاشت به طول ۵ متر و فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین کپه‌ای روی خط ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر کپه چهار بذر قرار داده شد که پس از اطمینان از سبز شدن عمل تنک کردن انجام و دو بوته در هر کپه باقی‌ماند. آبیاری هر یک از آزمایش‌ها مطابق با نیاز آبی گیاه و روش معمول منطقه انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت. پس از رسیدگی فیزیولوژیک اقدام به برداشت محصول و تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ براساس کیلوگرم در هکتار شد.

از روش‌های تجزیه پایداری چندمتغیره امی و GGE بای‌پلات جهت مطالعه برهم کنش ژنوتیپ و محیط بهره برده شد. ابتدا پیش از انجام هر تجزیه و تحلیلی، همگنی واریانس خط‌های آزمایشی با آزمون

الگوی: ۱. بررسی روابط میان محیط‌ها، ۲. تعیین بهترین رقم در هر مکان، ۳. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری، ۴. رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل، ۵. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و ۶. تعیین ابرمحیط‌ها استفاده شد.

مولفه اول و دوم و  $\epsilon_{ij}$  مقدار باقی‌مانده برای ژنوتیپ‌آم در محیط  $\lambda_{ij}$  هستند.

جهت تجزیه داده‌های آزمایش به روش امی از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارهای مربوط به آن از نرم‌افزار Minitab و برای تجزیه داده‌ها به روش گرافیکی بای‌پلات از نرم‌افزار Genstat بر اساس شش

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Tale 1- Geographical specifications of performed the experiment areas

| Area<br>منطقه     | Elevation AMSL (m)<br>ارتفاع از سطح دریا (متر) | Latitude<br>عرض جغرافیایی | Longitude<br>طول جغرافیایی |
|-------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| Arak<br>اراک      | 1708   | 34°06'N                   | 49°46'E                    |
| Birjand<br>بیرجند | 1491   | 32°52'N                   | 59°12'E                    |
| Shiraz<br>شیراز   | 1484   | 29°32'N                   | 52°36'E                    |
| Karaj<br>کرج      | 1312   | 35°55'N                   | 50°54'E                    |

جدول ۲- مشخصات ژنوتیپ‌های ذرت مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Genotypes specifications of corn used in the experiment

| Genotype no.<br>کد ژنوتیپ | Genotype<br>ژنوتیپ | Genotype no.<br>کد ژنوتیپ | Genotype<br>ژنوتیپ |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| G1                        | KSC703             | G7                        | KSC707             |
| G2                        | KSC260             | G8                        | DC370              |
| G3                        | KSC705             | G9                        | SC647              |
| G4                        | KSC400             | G10                       | SC302              |
| G5                        | KSC706             | G11                       | SC604              |
| G6                        | KSC704             | G12                       | SC301              |

## نتایج و بحث

هستند، می‌باشد. درصد واریانس توجیه‌شده برای محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط به ترتیب برابر با ۱۷/۶۹، ۳۲/۷۹ و ۱۷/۹۰ درصد از مجموع مربعات کل بود. ژنوتیپ بیش‌ترین تغییر را در عملکرد دانه (تقریباً دو برابر محیط) ایجاد نمود که بیان‌گر تنوع بالای ژنوتیپ‌ها است که منجر به ایجاد بیش‌ترین تغییر شده است. در پژوهشی که برای بررسی عملکرد ذرت با استفاده از روش امی انجام شد، واریانس توجیه‌شده به‌وسیله محیط، ژنوتیپ و

**تجزیه امی:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بر اساس مدل امی در جدول ۳ ارائه گردیده است. طبق نتایج به‌دست آمده میانگین مربعات اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. این موضوع حاکی از تنوع میان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و مشکلاتی که به‌نژادگران در گزینش و آزادسازی با آن مواجه

پایین ترین میانگین مربعات غیرمعنی دار به دست آمد که نشان دهنده دقت قابل ملاحظه این مدل است (۱). باصفا و طاهریان (۲) در مطالعه‌ای که روی ۸ هیبرید ذرت در ۵ منطقه طی دو سال با استفاده از مدل امی انجام دادند، بیان نمودند که سه مؤلفه اصلی اول برهم کنش معنی دار می‌باشند و بیش از ۸۳ درصد از تنوع داده‌ها را تبیین می‌نمایند. کریمی زاده و همکاران (۱۱) روی ۹ هیبرید زودرس در ۷ منطقه به مدت دو سال نشان دادند که پنج مؤلفه اصلی برهم کنش در مجموع ۹۰/۳۰ درصد از مجموع مربعات برهم کنش ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کنند. عمرانی و همکاران (۱۶) در مطالعه خود نشان دادند که چهار مؤلفه اول مجموعاً ۸۳ درصد از تغییرات برهم کنش ژنوتیپ- محیط را تبیین می‌کند.

برهم کنش آن‌ها به ترتیب برابر با ۸۵/۲۴ درصد، ۶/۹۲ درصد و ۷/۸۴ درصد برآورد گردید (۲). نتایج به دست آمده از تجزیه اثرات جمع پذیر و ضرب پذیر بیانگر وجود اختلاف میان محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهم کنش بین آن‌ها بود. اثر ضرب پذیر مدل امی به مؤلفه‌های اصلی برهم کنش تجزیه شد که تنها مؤلفه اول، برهم کنش معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد بود و به تنهایی ۶۲/۶۴ درصد از تغییرات برهم کنش را توجیه نمود. مؤلفه اصلی دوم توانست ۲۳/۲۷ درصد از تغییرات مربوط به برهم کنش ژنوتیپ و محیط را تبیین نماید، اما غیر معنی دار برآورد شد؛ این مؤلفه به همراه مؤلفه اول در مجموع ۸۵/۹۱ درصد تغییرات کل در برهم کنش را توجیه کردند. مجموع مربعات باقی مانده از مدل امی (Noise) با

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ذرت بر اساس مدل امی

Table 3- Combined analysis for grain yield of corn genotypes based on AMMI method

| منابع تغییر          | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات          | واریانس توجیه شده (درصد) |
|----------------------|------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
| S.O.V                | df         | SS           | MS                      | SS explained (%)         |
| محیط                 | 3          | 35704618.69  | 11901539.56**           | 17.69                    |
| Environment          |            |              |                         |                          |
| بلوک (محیط)          | 2          | 2353728.60   | 1176864.30ns            | 1.16                     |
| Block (env)          |            |              |                         |                          |
| ژنوتیپ               | 11         | 66174518.08  | 6015865.28**            | 32.79                    |
| Genotype             |            |              |                         |                          |
| ژنوتیپ×محیط          | 33         | 36129332.90  | 1094828.27*             | 17.90                    |
| Genotype×Environment |            |              |                         |                          |
| اولین مؤلفه برهم کنش | 13         | 22633246.76  | 1741018.98**            | 62.64                    |
| IPCA1                |            |              |                         |                          |
| دومین مؤلفه برهم کنش | 11         | 8408227.49   | 764384.32 <sup>ns</sup> | 23.27                    |
| IPCA2                |            |              |                         |                          |
| باقی مانده           | 9          | 5087858.65   | 565317.63 <sup>ns</sup> | 14.08                    |
| Noise                |            |              |                         |                          |
| خطا                  | 94         | 61415620.70  | 653357.70               | 30.43                    |
| Error                |            |              |                         |                          |
| ضریب تغییرات (درصد)  |            |              | 16.81                   |                          |
| CV (%)               |            |              |                         |                          |

ns, \*, \*\*: معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

ns, \*, \*\*: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

می‌باشد. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها برابر ۴۸۰۸/۰۱ کیلوگرم در هکتار برآورد

نتایج عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و مقادیر دو مؤلفه اول اصلی برهم کنش در جدول ۴ قابل رؤیت

شد. ژنوتیپ ۶ (KSC704) بیشترین عملکرد دانه را به میزان ۶۷۷۵/۵ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد. پایینترین میزان عملکرد دانه به ژنوتیپ ۱۲ (SC301) با مقدار ۳۹۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. عملکرد دانه ژنوتیپ ۵ (KSC706) ۴۸۰۵/۳ کیلوگرم در هکتار بود که در محدوده میانگین عملکرد دانه همه ژنوتیپها در تمامی محیطها قرار داشت (جدول ۴). محیطهای تحت بررسی از نظر بیشترین عملکرد محیطی تا کمترین عملکرد محیطی به ترتیب عبارت از اراک (۵۴۷۵/۷ کیلوگرم در هکتار)، کرج (۵۰۶۷/۳ کیلوگرم در هکتار)، بیرجند (۴۵۰۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و شیراز (۴۱۸۷/۸ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). طبق آماره پایداری امی (ASV) ژنوتیپ و محیطی که دارای مقادیر پایین این آماره باشد به عنوان پایدارترین ژنوتیپ و محیط شناخته می شود. بر این اساس در بین ژنوتیپها، ژنوتیپ ۵ و در میان محیطها، محیط شیراز از پایداری بیشتری برخوردار هستند (جدول ۴).

بای پلات میانگین عملکرد دانه در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهم کنش در شکل A-1 به نمایش گذاشته شده است. ژنوتیپی که از لحاظ عملکرد دانه (محور افقی) میزان بیشتر و از نظر مؤلفه اول برهم کنش ژنوتیپ با محیط (محور عمودی) مقدار پایینی (نزدیک به صفر) داشته باشد، ژنوتیپ مطلوبتری در مقایسه با سایر ژنوتیپها خواهد بود. بر این اساس در میان ژنوتیپها، ژنوتیپ ۶ و در بین محیطها، محیط اراک به دلیل داشتن عملکرد دانه بسیار بالاتر از میانگین و مقدار بسیار پایین مؤلفه اول برهم کنش تحت عنوان پایدارترین ژنوتیپ و محیط شناخته شدند. اگر ژنوتیپ و محیطی از لحاظ

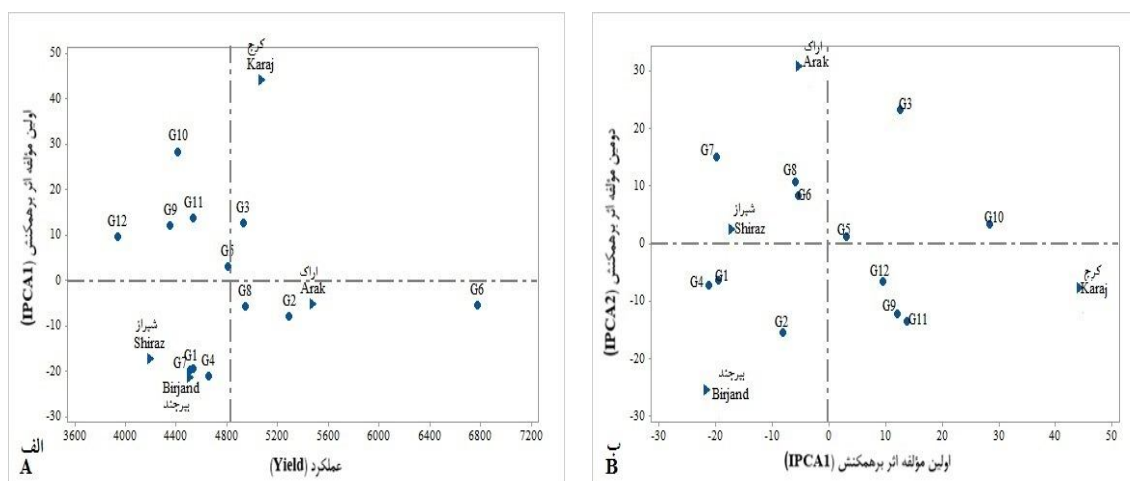
مؤلفه اول اصلی برهم کنش هم علامت باشند، دارای برهم کنش مثبت و اگر از لحاظ مؤلفه نامبرده هم علامت نباشند، دارای برهم کنش منفی خواهند بود. محیط اراک با عملکرد دانه‌ای بیش از میانگین کل دارای برهم کنش مثبت با ژنوتیپهای ۶، ۲ و ۸ و برهم کنش منفی با ژنوتیپ ۳ بود. محیط کرج از وضعیتی عکس محیط اراک برخوردار بود. محیطهای بیرجند و شیراز عملکرد دانه‌ای کمتر از میانگین کل داشته و برهم کنش مشابهی دارند. این محیطها با ژنوتیپهای ۱، ۴ و ۷ برهم کنش مثبت و با ژنوتیپهای ۱۰، ۱۱، ۹، ۱۲، ۵ برهم کنش منفی دارند.

شکل B-1 بای پلات مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهم کنش را برای ژنوتیپها و محیطها به نمایش می‌گذارد. مجموعاً ۸۵/۹۱ درصد تغییرات مربوط به اثر ضرب‌پذیر توسط این بای پلات تبیین می‌شود. بر اساس این نمودار ژنوتیپهایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط دارند و ژنوتیپهایی که نزدیک به مبدأ مختصات باشند از سازگاری عمومی برخوردارند. بنا بر آنچه بیان شد، همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود میان ژنوتیپها با محیطها سازگاری خصوصی قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد. ژنوتیپ ۵ به علت این که نزدیک به مبدأ مختصات قرار دارد از سازگاری عمومی قابل توجهی برخوردار است (شکل B-1). هیچ یک از محیطهای تحت مطالعه دارای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم برهم کنش ژنوتیپ و محیط نزدیک به صفر (مبدأ مختصات) نبود که مبین این موضوع می‌باشد که محیطها پتانسیل ایجاد برهم کنش را دارا هستند.

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه، آماره پایداری امی و مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم برهم کنش ژنوتیپ- محیط

Table 4- Seed yield mean, AMMI stability value, IPCA1 and IPCA2

| ژنوتیپ/محیط<br>Genotype/Environment | کد<br>Code | میانگین عملکرد<br>(گرم در مترمربع)<br>Mean Yield (g/m <sup>2</sup> ) | اولین مؤلفه<br>برهم کنش<br>IPCA1 | دومین مؤلفه<br>برهم کنش<br>IPCA2 | آماره پایداری<br>امی<br>ASV |
|-------------------------------------|------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| KSC703                              | G1         | 4531.9   | -19.41                           | -6.36                            | 25.88                       |
| KSC260                              | G2         | 5292.5   | -7.99                            | -15.5                            | 42.48                       |
| KSC705                              | G3         | 4930.3   | 12.66                            | 23.29                            | 63.96                       |
| KSC400                              | G4         | 4653.3   | -21.20                           | -7.39                            | 29.07                       |
| KSC706                              | G5         | 4805.3   | 3.09                             | 1.12                             | 4.32                        |
| KSC704                              | G6         | 6775.5   | -5.41                            | 8.24                             | 22.83                       |
| KSC707                              | G7         | 4514.8   | -19.76                           | 14.95                            | 44.83                       |
| DC370                               | G8         | 4945.8   | -5.78                            | 10.65                            | 29.24                       |
| SC647                               | G9         | 4354.8   | 12.07                            | -12.25                           | 35.11                       |
| SC302                               | G10        | 4416.2   | 28.37                            | 3.42                             | 29.83                       |
| SC604                               | G11        | 4537.7   | 13.82                            | -13.56                           | 39.03                       |
| SC301                               | G12        | 3938.1   | -6.60                            | 9.54                             | 26.51                       |
| Arak                                | Arak       | 5475.7   | -5.33                            | 30.93                            | 83.43                       |
| Birjand                             | Birjand    | 4501.3   | -21.56                           | -25.51                           | 71.97                       |
| Shiraz                              | Shiraz     | 4187.8   | -17.30                           | 2.37                             | 18.44                       |
| Karaj                               | Karaj      | 5067.3   | 44.20                            | -7.78                            | 48.91                       |



شکل ۱- الف: نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش با استفاده از میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهم کنش بر اساس مدل

AMMI1. ب: نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برهم کنش بر اساس مدل AMMI2

(G1: KSC703, G2: KSC260, G3: KSC705, G4: KSC400, G5: KSC706, G6: KSC704, G7: KSC707, G8: DC370, G9: SC647, G10: SC302, G11: SC604, G12: SC301)

Figure 1- A: Scatter plot for genotypes and environments derived from yield mean and first principal component axes based AMMI1 model. B: Scatter plot for genotypes and environments derived from first two interaction principal component axes based AMMI2, (G1: KSC703, G2: KSC260, G3: KSC705, G4: KSC400, G5: KSC706, G6: KSC704, G7: KSC707, G8: DC370, G9: SC647, G10: SC302, G11: SC604, G12: SC301)

۲۰/۵۷ درصد و در مجموع ۸۷/۵۳ درصد از تغییرات کل موجود در داده‌های عملکرد دانه را تبیین می‌نمایند. این موضوع بیانگر اعتبار نسبتاً زیاد نمودار بای‌پلات حاصل از این مطالعه در تبیین تغییرات G+GE می‌باشد. هنگامی که مجموع مؤلفه‌های اصلی

تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات: جهت شناسایی تنوع بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و مطالعه برهم کنش ژنوتیپ و محیط از روش تجزیه گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۶/۹۷ و

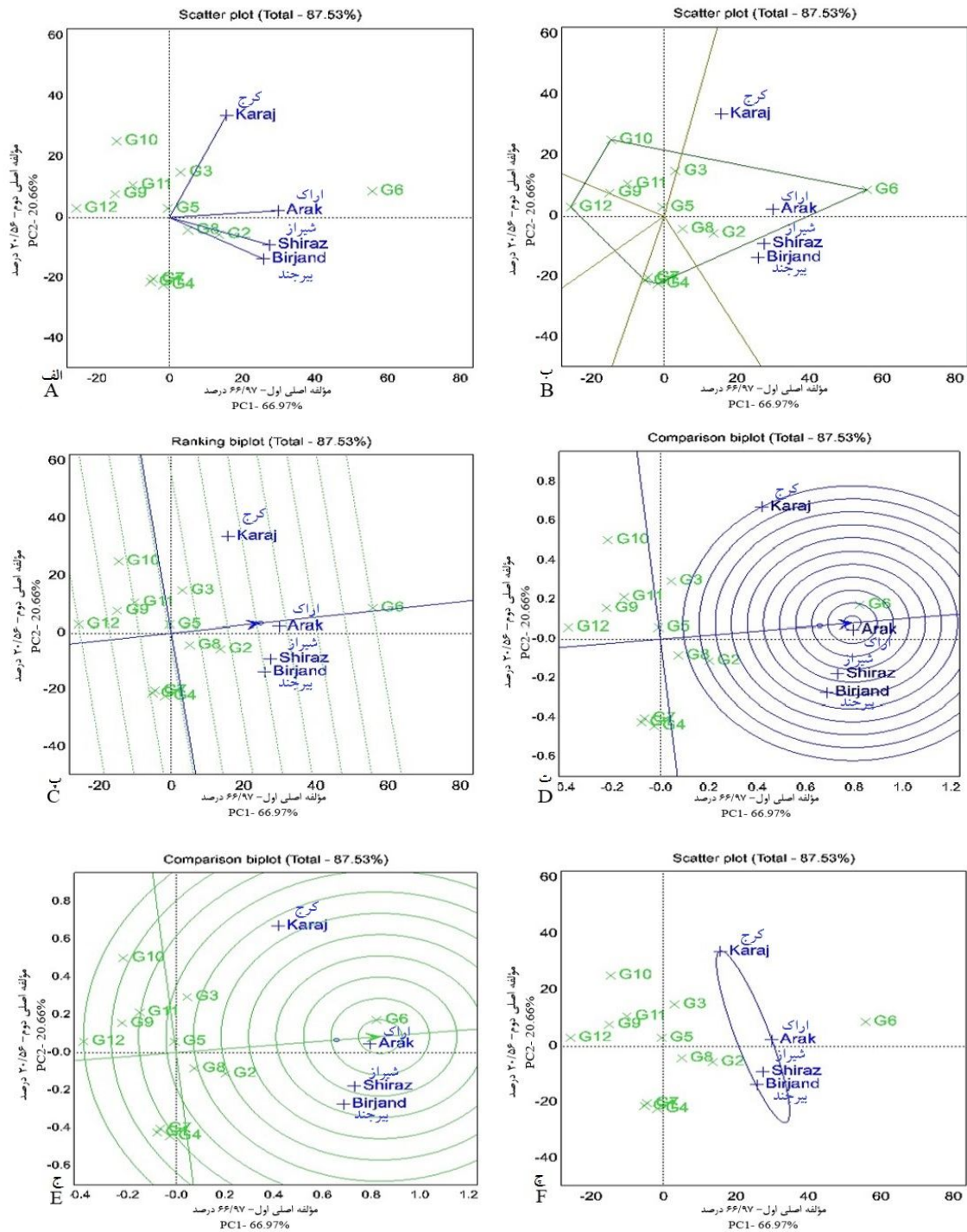
اول و دوم نتواند بیش تر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط خواهد بود (۲۴) اما این امر به معنای نامعتبر بودن بای‌پلات نیست (۲۷). اظهار شده است زمانی که نمودار بای‌پلات، حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌توان برای تعیین ابر محیط‌ها از آن استفاده نمود (۲۱).

شکل A-۲ همبستگی و روابط بین محیط‌ها را نمایان می‌سازد. مطالعه همبستگی میان محیط‌های تحت بررسی می‌تواند روابط بین محیط‌ها را معین نموده و در آزمایش‌های آتی از نظر صرف وقت و هزینه مفید باشد. در این نمودار هر اندازه زاویه بین بردارهای محیط‌ها کم‌تر باشد، بین محیط‌ها همبستگی بیش‌تری وجود دارد. در واقع بالا بودن همبستگی بین محیط‌ها به معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها است. به‌طور کلی، کسینوس زاویه بین بردارها میزان همبستگی را نمایان می‌کند. اگر زاویه بین بردارها کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیان‌گر عدم وجود همبستگی بین محیط‌ها است و در صورتی که زاویه بین بردارها بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین محیط‌ها می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده است، بین مکان‌های اراک، شیراز و بیرجند همبستگی بالایی وجود دارد که این نشان‌دهنده پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها است. لذا بین رتبه عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی وجود ندارد. کرج- شیراز و کرج- بیرجند همبستگی تقریباً نزدیک به صفر نشان دادند، به عبارتی ژنوتیپ‌ها در این دو مکان روند عملکردی مستقلی را داشتند. در این مطالعه مکان‌های اراک، شیراز و بیرجند دارای همبستگی نزدیکی بودند؛ بنابراین، توصیه می‌گردد که یکی از این سه مکان به‌منظور کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات آینده مورد استفاده قرار گیرد.

طول بردار محیط‌ها تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است و نیز به‌عنوان شاخصی جهت تمایز محیط‌ها می‌باشد بدین صورت که بردارهای بلندتر از انحراف معیار بالاتر برخوردار هستند و بنابراین، قابلیت تمایز بیش‌تری دارند (۲۳). یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط قابلیت تمایز آن می‌باشد به‌نحوی که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های استفاده شده در آزمایش ارائه کنند (۲۳). بررسی بردارهای محیط‌ها حاکی از این بود که محیط‌های مورد آزمایش دارای طول بردارهای بلند و هم‌اندازه هستند که نشان‌دهنده قابلیت تمایز بالای این محیط‌ها است و محیط کرج به‌علت دارا بودن طول بردار تقریباً بلندتر نسبت به سایر محیط‌ها قابلیت تمایز بیش‌تری داشت. 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 و محیط در ارقام ذرت میان ژنوتیپ‌ها تمایز مناسبی ایجاد نمایند.

شکل B-۲ مربوط به نمودار بای‌پلات چندضلعی می‌باشد که برای شناسایی محیط‌های بزرگ (ابر محیط‌ها) و ژنوتیپ‌های برتر در مکان‌های مختلف رسم شد. در این بای‌پلات یک چندضلعی مشاهده می‌شود که از اتصال ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ دارند حاصل می‌شود. ژنوتیپ‌های KSC704، KSC400، KSC703، KSC707، SC301 و SC302 در دورترین فاصله قرار گرفته‌اند و سبب تشکیل چندضلعی شده‌اند. سپس از مبدأ مختصات خطوطی عمود بر اضلاع این چندضلعی رسم می‌گردد و محیط‌های بزرگ مشخص می‌شود (۲۷). در بخش‌هایی که محیط‌ها قرار گرفته‌اند و در رأس آن‌ها ژنوتیپ‌ها وجود دارند بدان معنا می‌باشد که این ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها از عملکرد دانه خوبی برخوردار هستند به عبارتی بهترین ژنوتیپ‌ها برای این محیط‌ها می‌باشند.





شکل ۲- الف: نمودار بای‌پلات بررسی روابط بین محیط‌ها، ب: نمودار بای‌پلات چندضلعی جهت تعیین ارقام مناسب در هر محیط، پ: نمودار بای‌پلات جهت رتبه‌بندی ارقام بر اساس میانگین عملکرد و پایداری، ت: نمودار رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل، ج: نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و چ: نمودار تعیین ابر محیط‌ها (G1: KSC703, G2: KSC260, G3: KSC705, G4: KSC400, G5: KSC706, G6: KSC704, G7: KSC707, G8: DC370, G9: SC647, G10: SC302, G11: SC604, G12: SC301).

Figure 2- Biplot examine the relationship between the environments, B: Polygons of GGE biplot method for determine the appropriate cultivars in every environment, C: Biplot graph for ranking cultivars based on the average performance and stability, D: Ranking biplot environments based on hypothetical ideal environment, E: Ranking biplot genotypes based on hypothetical ideal genotype and F: Mega-environments biplot, (G1: KSC703, G2: KSC260, G3: KSC705, G4: KSC400, G5: KSC706, G6: KSC704, G7: KSC707, G8: DC370, G9: SC647, G10: SC302, G11: SC604, G12: SC301).

است (۲۶). محوری که تنها با خط مشخص شده است، نشان‌گر متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها است؛ ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط در سمت راست محور و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه پایین‌تر از متوسط در سمت چپ محور قرار می‌گیرند. بنابر آنچه عنوان شد، ژنوتیپ ۶ دارای بیش‌ترین میزان پایداری و عملکرد دانه بود و به‌عنوان بهترین ژنوتیپ شناخته شد. ژنوتیپ ۱۲ دارای کم‌ترین میزان عملکرد دانه بود و عنوان ژنوتیپ نامطلوب را به خود اختصاص داد (شکل ۲- C).

شکل ۲- D رتبه‌بندی محیط‌ها را بر اساس محیط ایده‌آل برای چهار محیط مورد بررسی نشان می‌دهد. محیط‌های ایده‌آل بیش‌ترین قابلیت تشخیص و نمایندگی را در بین دیگر محیط‌ها دارند. بر طبق این نمودار بای‌پلات اراک به‌علت قرار گرفتن در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دایره‌های هم‌مرکز به‌عنوان بهترین محیط شناخته شد و بعد از آن به‌ترتیب شیراز، بیرجند و کرج قرار گرفتند. کرج به‌علت اینکه بیش‌ترین فاصله را از مرکز دایره‌های هم‌مرکز داشت به‌عنوان ضعیف‌ترین محیط شناخته شد. محیط ایده‌آل یک نماینده مناسب برای بررسی ژنوتیپ‌ها است. در حقیقت محیط‌های ایده‌آل، نشان‌دهنده ایده‌آل‌ترین الگوی پاسخ ژنوتیپ‌ها می‌باشند.

شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس مفاهیم پایداری و عملکرد بالا می‌باشد. بر این اساس ژنوتیپی مطلوب می‌باشد که دارای بیش‌ترین میزان عملکرد دانه و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی دارا باشد. به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر و ژنوتیپی که دارای بیش‌ترین میزان فاصله از این ژنوتیپ ایده‌آل فرضی باشد به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ شناخته می‌شود (۲۳). بر اساس این نمودار،

بر این اساس در تمامی محیط‌های مورد مطالعه (اراک، بیرجند، شیراز و کرج) ژنوتیپ شماره ۶ (KSC704) بهترین ژنوتیپ است و بعد از این ژنوتیپ، ژنوتیپ KSC260 برای کشت در این مناطق مناسب‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشد. سایر ژنوتیپ‌ها در بخش‌هایی قرار گرفته‌اند که هیچ محیطی در آن وجود ندارد یعنی برای کشت در هیچ‌یک از مناطق مورد بررسی مطلوب نیست و جز ارقام ضعیف در بیش‌تر مناطق مورد پژوهش هستند. ژنوتیپ KSC706 که در نزدیک مرکز بای‌پلات قرار گرفته است دارای عملکرد دانه متوسط در تمام محیط‌ها است. بر اساس این بای‌پلات محیط‌های مورد آزمایش در یک محیط بزرگ قرار گرفتند که این موضوع به‌وسیله نمودار بای‌پلات تعیین محیط‌های بزرگ (شکل ۲- F) نیز تأیید شد. لذا با توجه به این نتیجه می‌توان بیان نمود، به دلیل این‌که چهار محیط تحت بررسی اثرات مشابهی داشتند در تحقیقات آتی در زمینه پایداری و سازگاری ذرت دانه‌ای بهتر است یکی از محیط‌های تحت بررسی استفاده شود و به‌جای سه محیط دیگر دامنه مطالعات را به مناطق مختلف دیگری گسترش داد.

مطالعه هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate) (۲۳) که نام دیگر آن نمودار بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری است، می‌توان بهره برد (۲۷). برای بررسی پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها از این نمودار بای‌پلات استفاده می‌گردد. نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات، از روش‌های مفید در تجزیه پایداری به شمار می‌رود (۱۲). در این نمودار محور افقی که دارای یک فلش می‌باشد و از دایره کوچکی که نمایانگر میانگین محیط‌ها است و همچنین از مبدأ مختصات عبور می‌کند، نمایش‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک‌تر باشد، پایداری

کنترل نمود. برای تعیین برهم‌کنش محققین معیارهای مختلفی را به کار گرفته‌اند. یکی از سودمندترین معیارها استفاده از روش‌های چندمتغیره است؛ زیرا برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را به خوبی در ابعاد مختلف تجزیه و تحلیل می‌نمایند. در پژوهش حاضر از دو روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهم‌کنش ضرب‌پذیر و روش گرافیکی GGE بای‌پلات استفاده شد. نتایج حاصل از هر دو روش ژنوتیپ ۶ (KSC704) را به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی نمودند. این ژنوتیپ در هر چهار محیط تحت مطالعه مطلوب‌ترین ژنوتیپ بود.

ژنوتیپ ۶ با توجه به اینکه کم‌ترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی داشت به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی شد و ژنوتیپ ۱۲ به علت اینکه دارای بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بود تحت عنوان ژنوتیپ نامطلوب نامیده شد.

### نتیجه‌گیری کلی

برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط در راستای تولید و آزادسازی ژنوتیپ‌های جدید گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با افزایش آگاهی در این زمینه می‌توان تا حدودی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را

### منابع

- Gauch, H.G., and Zobel, R.W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 2. 311-326.
- Gauch, H.G. 1992. *Statistical Analysis of Regional Trials. AMMI Analysis of Factorial Designs.* Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.
- Hoisington, D., Khairallah, M., Reeves, T., Ribaut, J.M., Skovmand, B., Taba, S., and Warburton, M. 1996. Plant genetic resources: What can they contribute toward increased crop productivity? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 96: 11. 5937-5943.
- Jans, W.W.P., Jacobs, C.M.J., Kruijt, B., Elebrs, J.A., Barendse, S., and Moors, E.J. 2010. Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crops: Influence of phenology. *Agric. Ecosyst. and Environ.* 139: 2. 325-335.
- Karimizadeh, R., Dehghani, H., and Dehghanpour, Z. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype-environment interaction in early maturing corn hybrids. *Seed and Plant J.* 23: 4. 531-546. (In Persian)
- Kaya, Y., Akcura, M., and Taner, S. 2006. GGE- biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turk. J. Agric. Forest.* 30: 5. 325-337.
- Kempton, R.A. 1984. The use of biplot in interpreting variety by environment
- 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 2<sup>nd</sup> International Rice Congress*, Pp: 226- 234.
- Basafa, M., and Taheriyani, M. 2016. Analysis of Stability and Adoptability of Forage Yield among Silage Corn Hybrids. *J. of crop breed.* 19: 8. 185-191. (In Persian)
- Chaudhary, H.K., Kaila, V., and Rather, S.A. 2014. Maize. In: Pratap, A. and Kumar, J., Eds., *Alien Gene Transfer in Crop Plants: Achievements and Impacts*, Springer, New York. Pp: 27-50.
- 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 Sci.* 42: 2. 489-496.
- Farshadfar, E., Mohammadi, M., Aghae, M., and Vaisi, Z. 2012. GGE biplot analysis of genotype× environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Aust. J. of Crop Sci.* 6: 6. 1074-1079.
- Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika.* 58: 3. 453-467.

- yield performance. South Africa J. of plant and soil. 17: 3. 101-107.
20. Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., and Waage, J.J. 2010. A draft strategy and results framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC.
  21. Yan, R., Crossa, J., Cornelius, P., and Bugueno, J. 2009. Biplot analysis of genotype× environment interaction: Proceed with caution. Crop Sci. 49: 5. 1564-1576.
  22. Yan, W., and Hunt, L.A. 2001. Interpretation of genotype× environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Sci. 41: 1. 19-25.
  23. Yan, W., and Kang, M.S. 2003. GGE-biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
  24. Yan, W., and Tinker, N.A. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype× environment interaction. Crop Sci. 45: 3. 1004-1016.
  25. Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J., and Hunt, L.A. 2001. Two type of GGE bipots for analyzing multi-environmental trial data. Crop Sci. 41: 3. 656-663.
  26. Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40: 3. 597-605.
  27. 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 Sci. 47: 2. 643-655.
  14. Liu, Y., Li, S., Chen, F., Yang, S., and Chen, X. 2010. Soil water dynamics use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjects to different water management practices on the loess Plateau, China. Agric. Water Manag. 97: 3. 769-775.
  15. Makumbi, D., Diallo, A., Kanampiu, K., Mugo, S., and Karaya, H. 2015. Agronomic performance and genotype× environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. Crop Sci. 55: 4. 540- 555.
  16. Omrani, S., Onrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji, S., and Froozesh, 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. J of Crop Breeding. 11: 31. 153-163.
  17. Panda, R.K., Behera, S.K., and Kashyap, P.S. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. Agric. Water Manag. 66: 3. 181-203.
  18. Purchase, J.L. 1997. Parametric analysis to describe genotype× environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. dissertation, department of agronomy, university of Free State, Bloemfontein, South Africa.
  19. Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of