

**ORIGINAL ARTICLE**

## Evaluation of stability of chickpea genotypes to obtain high-yielding cultivars compatible with subtropical rainfed areas by biplot analysis

Rahmatollah Karimizadeh<sup>1\*</sup>, Payam Pezeshkpour<sup>2</sup>, Amir Mirzaee<sup>3</sup>, Mohammad Barzali<sup>4</sup>, Farzad Azadshahraki<sup>5</sup>, Peyman Sharifi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran.

<sup>2</sup>Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.

<sup>3</sup>Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran.

<sup>4</sup>Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran.

<sup>5</sup>Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

<sup>6</sup>Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

**Correspondence**

Rahmatollah Karimizadeh  
Email: [Karimizadeh\\_ra@yahoo.com](mailto:Karimizadeh_ra@yahoo.com)

**How to cite**

Karimizadeh, R. (2022). Evaluation of stability of chickpea genotypes to obtain high-yielding cultivars compatible with subtropical rainfed areas by biplot analysis. *Crop Biotechnology*, 12(40), 49-62.

**ABSTRACT**

In order to achieve more high-yielding chickpea genotypes than the existing cultivars that have suitable traits such as seed yield, more number of pods per plant, coarseness of seeds, early maturity and other desired agricultural traits, 16 advanced chickpea genotypes selected from advanced tests comparing crop year yield 2015-2016 along with Adel and Azad witness figures for three crop years (2016-2019) in Gachsaran, Gonbad, Khorramabad and Ilam were planted in the form of a completely randomized block design with three replications. Composite variance analysis showed a significant effect of genotype, environment and genotype interaction in the environment (GEI). Therefore, Biplot method was used to analyze the genotype × environment interaction. The first two principal components explained 32/50 percent (26.12 and 24.2%, respectively) of the total GEI changes. The polygon view of Biplot showed that genotypes 18, 9, 17 and 16 with higher than average performance and near the origin of Bioplate were genotypes with high general stability. Also genotypes 5, 12 and 11 showed adaptation to many environments. The average tester view of Biplot also showed that genotypes 12, 18 and 9 were the closest genotypes to the ATC axis and therefore the most stable and also had high average yield in different environments. The ideal genotype view of Biplot showed that genotypes 5 and 12 at the closest distance from the Biplot origin were the best genotypes and genotypes 1, 2 and 13 were the most unfavorable genotypes in terms of seed stability and yield. According to the results, genotypes 5, 9, 12 and 16 were selected as promising genotypes and candidates for introduction.

**KEYWORDS**

Chickpea, Yield Stability, AMMI method, Biplot

نشریه علمی

## زیست فناوری گیاهان زراعی

«مقاله پژوهشی»

# ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های نخود، برای دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار با مناطق دیم نیمه گرمسیری با روش تجزیه بای پلات

رحمت‌الله کریمی‌زاده<sup>۱\*</sup>، پیام پزشک‌پور<sup>۲</sup>، امیر میرزائی<sup>۳</sup>، محمد برزعلی<sup>۴</sup>، فرزاد آزادشهرکی<sup>۵</sup>، پیمان شریفی<sup>۶</sup>

### چکیده

به منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های نخود کابلی پرمحصول‌تر از ارقام موجود که واجد صفات مناسبی چون عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته بیشتر، درشتی دانه، زودرسی و دیگر صفات زراعی موردنظر باشند، تعداد ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته نخود انتخابی از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به همراه ارقام شاهد عادل و آزاد به مدت سه سال زراعی (۹۸-۱۳۹۵) در مناطق گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه مرتبه کشت شدند. تجزیه واریانس مرکب اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را نشان داد. از این‌رو از روش بای پلات برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شد. دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۵۰/۳۲ درصد (به ترتیب ۲۶/۱۲ و ۲۴/۲) از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. نمای چندضلعی بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۹، ۱۷ و ۱۶ با عملکرد بیشتر از متوسط و در نزدیکی مبدأ بای پلات ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا بودند. همچنین ژنوتیپ‌های ۵، ۱۱ و ۱۲ به بسیاری از محیط‌ها سازگاری نشان می‌دادند. نمای تستر متوسط بای پلات نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۸ و ۹ نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به محور ATC و در نتیجه پایدارترین آن‌ها بودند و متوسط عملکرد بالایی در محیط‌های مختلف داشتند. نمای ژنوتیپ ایده‌آل بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۲ در نزدیک‌ترین فاصله از مبدأ بای پلات بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۱۳ نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و عملکرد دانه بودند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۹ و ۱۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش و کاندیدای معرفی انتخاب شدند.

### واژه‌های کلیدی

نخود، پایداری عملکرد، روش امی، بای پلات.

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.  
<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.  
<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.  
<sup>۴</sup> مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران.  
<sup>۵</sup> مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.  
<sup>۶</sup> گانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

نویسنده مسئول:

رحمت‌الله کریمی‌زاده

رایانامه: Karimizadeh\_ra@yahoo.com

استاد به این مقاله:

کریمی‌زاده، رحمت‌الله، پزشک‌پور، پیام، میرزائی، امیر، برزعلی، محمد، آزادشهرکی، فرزاد و شریفی، پیمان (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های نخود، برای دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار با مناطق دیم نیمه‌گرمسیری با روش تجزیه بای پلات. فصلنامه علمی زیست فناوری گیاهان زراعی، ۱۲(۴۰)، ۴۹-۶۲.

## مقدمه

می‌تواند بخشی از پروتئین‌های موردنیاز بدن را تأمین کند (Kanouni et al., 2016). در مجموع ۸۰ درصد وزن خشک دانه نخود را کربوهیدرات و پروتئین تشکیل می‌دهد. ارزش بیولوژیکی پروتئین نخود ۷۸-۵۲ درصد بیشتر از سایر حبوبات گزارش شده است (Kanouni et al., 2016).

متوسط جهانی عملکرد نخود در هر دو شرایط آبی و دیم ۱۴۷۲ کیلوگرم در هکتار است که در مقایسه با محصولاتی مانند گندم (۳۱۹۸ کیلوگرم در هکتار)، برنج (۴۰۰۰ کیلوگرم) و ذرت (۴۹۶۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد پایینی محسوب می‌شود، هرچند که نسبت به برخی حبوبات مانند عدس (۱۰۸۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد قابل توجهی دارد و باتوجه به سختی شرایط کاشت، داشت و برداشت این محصول نسبت به دیگر محصولات و همچنین قیمت پایین آن در سطح جهانی هرساله سطح زیر کشت آن کاهش پیدا می‌کند (Karimizadeh et al., 2021; FAO, 2021). نخود به‌عنوان یک گیاه زراعی بعد از فصل بارندگی و اغلب به‌صورت دیم در مناطق غرب آسیا و شمال آفریقا (WANA) کشت می‌شود و با استفاده از رطوبت ذخیره‌شده در خاک چرخه زیستی خود را تکمیل می‌کند (ICARDA, 2018). از عوامل عمده کاهش عملکرد در واحد سطح می‌توان توزیع نامناسب بارندگی و کاهش بارندگی را نام برد (Karimizadeh et al., 2021). سطح زیر کشت نخود در ایران ۶۵۰ هزار هکتار و تولید سالیانه آن در حدود ۳۵۰ هزار تن است (Kanouni et al., 2016). ایران با تولید ۲۲۱ هزار تن پس از کشورهای هند، استرالیا، ترکیه، روسیه، آمریکا، اتیوپی، میانمار، مکزیک، پاکستان و کانادا رتبه یازدهم را در تولید نخود دارا است (FAO, 2021). در بین کشورهای تولیدکننده نخود، ایران با ۵۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت به لحاظ وسعت کشت پس از هندوستان، استرالیا، پاکستان، روسیه و ترکیه در مقام ششم قرار دارد، در صورتی که از نظر عملکرد در واحد سطح با تولید ۴۴۳ کیلوگرم در هکتار در شش رتبه آخر و قبل از پاکستان، کنیا، لیبی، مراکش و اریتره قرار می‌گیرد، درحالی که بیش از ۹۵ درصد کشت نخود در ایران در شرایط دیم کشت می‌شود (FAO, 2021). روند روبه‌رشد جمعیت در جهان و نیاز روزافزون به غذا، نیاز به به‌نژادی گیاهان زراعی برای تأمین غذا را بیش از پیش آشکار می‌کند، به‌گونه‌ای که مهم‌ترین هدف به‌نژادی درحال حاضر افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط مختلف محیطی و تأمین امنیت غذایی برای تمامی مردم دنیا دانست (Karimizadeh et al., 2013).

روش‌های زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارائه شده است. فلورس و همکاران (Flores et al., 1998) این

حبوبات نقش مهمی در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در کشورهای درحال توسعه ایفا می‌کنند و به همین دلیل گاهی اوقات به‌عنوان گوشت افراد فقیر شناخته می‌شوند. از آنجایی که حبوبات منابع حیاتی پروتئین، کلسیم، آهن، فسفر و سایر مواد معدنی هستند، بخش قابل توجهی از رژیم غذایی گیاهخواران را تشکیل می‌دهند؛ زیرا سایر مواد غذایی که مصرف می‌کنند حاوی پروتئین زیادی نیستند (Merga, Haji & Yildiz, 2019).

حبوبات به دلیل نقشی که در تثبیت نیتروژن خاک دارند اغلب به‌عنوان محصولات تناوبی با غلات کشت می‌شوند. با این حال، طی چند دهه گذشته، عملکرد و تولید حبوبات در کشورهای درحال توسعه راکد بوده است. تلاش‌های تحقیق و توسعه کشاورزی در بسیاری از این کشورها بر افزایش عملکرد و تولید غلات و کاهش تلفات محصول به‌منظور دستیابی به امنیت غذایی متمرکز شده است. باتوجه به نقش‌های متنوعی که تناوب حبوبات- غلات در سیستم‌های کشاورزی و امنیت غذایی ایفا می‌کنند، تحقیقات روی این گروه از گیاهان تأثیرات قابل توجهی بر امنیت غذایی و حاصلخیزی خاک خواهد داشت (Kumara Charyulu & Deb, 2014).

نخود منبع خوبی از انرژی، پروتئین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و فیبر است و همچنین حاوی مواد شیمیایی گیاهی مفید برای سلامتی است (Wood & Grusak, 2007). نخود با پوشش کمبود پروتئین جیره غذایی روزانه جمعیت هند و جنوب آفریقا نقش پیشرو در ایمنی غذا در جهان را ایفا می‌کند. شیر خشک طراحی شده مبتنی بر نخود، الزامات سازمان بهداشت جهانی / سازمان خواروبار جهانی<sup>۱</sup> در مورد غذاهای کمکی و همچنین مقررات اتحادیه اروپا در مورد شیر خشک با حداقل افزودن روغن، مواد معدنی و ویتامین را برآورده می‌کند. از نخود به‌عنوان منبع متداول کربوهیدرات و پروتئین استفاده می‌شود، از این رو بدون به خطر انداختن کیفیت تغذیه، آن را برای کشورهای درحال توسعه مقرون به‌صرفه‌تر می‌کند (Malunga et al., 2014). فرصت‌ها در مناطق عمده کشت به کاهش ریسک محصول و بهبود بهره‌وری بستگی دارد. با این حال، در بین حبوبات، نخود به‌طور مداوم وضعیت بسیار مهم‌تری دارد و در رتبه دوم از نظر سطح (۱۵.۳٪ از کل) و رتبه سوم از نظر تولید (۱۵.۴۲٪) قرار دارد (Redden & Berger, 2007).

نخود سازگاری بیشتری نسبت به سایر حبوبات با شرایط اقلیمی ایران دارد و در کنار منابع پروتئین‌های حیوانی

بررسی کردند و با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و پلات کردن مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، روش‌های مختلف را گروه‌بندی کردند. آن‌ها در داده‌های مربوط به گیاه باقلا ۲۲ پارامتر پایداری در پنج گروه و در داده‌های مربوط به گیاه نخود در چهار گروه دسته‌بندی شدند. زالی و همکاران (Zali *et al.*, 2012) با استفاده از روش امی پایداری ۱۷ ژنوتیپ پیشرفته نخود را در ۵ منطقه و به مدت ۲ سال ارزیابی کردند و ژنوتیپ‌های FLIP97-79C و FLIP97-114C را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب کردند. یاقوتی‌پور و فرشادفر (Yaghotipoor & Farshadfar, 2007) با استفاده از روش‌های ناپارامتری پایداری ژنوتیپ‌های پیشرفته نخود را در ۵ منطقه و به مدت ۲ سال ارزیابی کردند و پایدارترین ژنوتیپ‌ها برای کشت در مناطق دیم معتدل را انتخاب کردند. همچنین زالی و همکاران (Zali *et al.*, 2012) پایداری ژنوتیپ‌های پیشرفته نخود را در ۱۰ محیط ارزیابی کرده و پایدارترین ژنوتیپ را با استفاده از روش امی معرفی نمودند. هدف از این تحقیق شناسایی پایدارترین ژنوتیپ نخود، به‌منظور دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری- نیمه‌گرمسیری کشور با استفاده از تجزیه بای پلات است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق تعداد ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته نخود گزینش شده از آزمایش‌های A-Test به همراه ارقام شاهد عادل و آزاد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار منطقه گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۵) کاشته شدند. این پژوهش در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام به‌صورت دیم طی سه سال زراعی (۹۸-۱۳۹۵) اجرا شد. شرایط اقلیمی محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. برای تهیه زمین هر سال قبل از کشت، زمینی را که در سال گذشته آیش بوده، با گاواهن شخم زده و نسبت به نرم کردن خاک با دیسک و روتیواتور اقدام گردید. کودهای شیمیایی با در نظر گرفتن آزمایش خاک در هر منطقه برمبنای ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم اوره، به هنگام عملیات تهیه زمین، به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. در این آزمایش ۱۸ ژنوتیپ پیشرفته نخود به‌همراه ارقام شاهد عادل و آزاد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ۱۲ محیط (چهار منطقه و سه سال) و در کرت‌هایی به طول ۶ متر و عرض ۱ متر بر روی ۴ خط با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۵۰ دانه در مترمربع در تاریخ مناسب هر منطقه

روش‌ها را به سه گروه پارامتری، ناپارامتری و چندمتغیره تقسیم‌بندی کردند. آن‌ها ۲۲ روش تعیین پایداری شامل؛ ۶ روش یک متغیره پارامتری، ۹ روش یک متغیره ناپارامتری و ۷ روش چندمتغیره را در دو مجموعه آزمایشات انجام‌شده در گیاهان نخود و باقلا مورد بررسی قرار دادند. در نهایت با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و پلات کردن مؤلفه‌های اصلی اول و دوم روش‌های مختلف را گروه‌بندی کردند. در داده‌های مربوط به گیاه باقلا ۲۲ پارامتر پایداری در پنج گروه و در داده‌های مربوط به گیاه نخود در چهار گروه دسته‌بندی شدند. فلورس و همکاران (Flores *et al.*, 1998) نشان دادند که ۲۲ روش موردنظر در سه گروه قرار گرفتند: گروه اول روش‌هایی که وابستگی شدید به سطوح عملکرد دارند و با پارامترهای پایداری همبستگی کمی دارند، گروه دوم روش‌هایی که با هر دو عامل یعنی سطوح عملکرد و پارامترهای پایداری همبستگی بالا نشان دادند و اثر متقابل GE را کاهش دادند و سرانجام گروه سوم که فقط پایداری را نشان دادند. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2012) تیپ‌های مختلف پایداری را برای ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم مورد بررسی قرار دادند. در همان پژوهش، کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2012) برنامه‌ای برای تجزیه پایداری روش‌های پارامتری در نرم‌افزار MATLAB نوشتند که براساس آن ۱۰ روش مهم پایداری به‌راحتی محاسبه می‌شود.

در روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) ابتدا تجزیه واریانس معمولی بر روی داده‌های دوطرفه ژنوتیپ و محیط انجام می‌شود و سپس از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) اثرات متقابل محاسبه می‌شود (Gauch, 1988).

باتوجه به تأثیر تنش‌های محیطی بر روی عملکرد گیاهان زراعی، کاشتن ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های گوناگون و آگاهی یافتن از برهمکنش ژنوتیپ × محیط به به‌نژادگران گیاهی کمک می‌کند تا ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و بهترین آن‌ها را گزینش کنند (Rao & Probhakaran, 2000). از این‌رو، روش‌های زیادی برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است؛ به‌طوری‌که فلورس و همکاران (Flores *et al.*, 1998) این روش‌ها را به سه گروه پارامتری، ناپارامتری و چندمتغیره تقسیم‌بندی کردند. آن‌ها ۲۲ روش تعیین پایداری شامل شش روش تک‌متغیره پارامتری، نه روش تک‌متغیره ناپارامتری و هفت روش چندمتغیره را در دو مجموعه آزمایشات انجام‌شده در گیاهان نخود و باقلا

مرفوفیز یولوژیکی ژنوتیپ‌ها و ارقام شرکت‌کننده از قبیل تاریخ و درصد سبز شدن، ارتفاع بوته، ظهور گل، تاریخ رسیدن و میزان حساسیت به بیماری‌ها به عمل آمد. پس از برداشت، عملکرد دانه توزین گردید. رنگ و کیفیت پر شدن دانه هریک از ژنوتیپ‌های شرکت‌کننده در آزمایش کنترل و یادداشت گردید.

کشت شدند. در پایان فصل پس از رسیدگی کامل بعد از حذف اثر حاشیه‌ای از هر کرت آزمایشی، محصول دانه هر کرت توزین و به عملکرد دانه در هکتار تبدیل گردید. کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت در سال‌های مختلف به صورت یکنواخت انجام پذیرفت. در طول دوره رویش گیاه یادداشت‌برداری از خصوصیات زراعی و

جدول ۱. شماره و شجره ژنوتیپ‌های نخود مورد استفاده در پژوهش

منشأ	شجره/پدیگری	شماره ژنوتیپ
ICARDA	ILC 484 ACC no 26783-68	۱
ICARDA	FLIP84-48C X81TH55/ILC 1920//ILC 2956	۲
ICARDA	FLIP84-79C X80TH176/ILC 72//ILC 215	۳
ICARDA	FLIP86-6C X81TH203//(ILC 3279(WH)/ILC 3355)	۴
ICARDA	FLIP90-96C X87TH26/ILC 5342//FLIP 84-93C	۵
ICARDA	FLIP93-93C X89TH258//FLIP 85-122C/FLIP 82-150C/3/FLIP 86-7C	۶
ICARDA	FLIP97-281C X94TH75/FLIP 87-58C//UC 15	۷
ICARDA	FLIP97-503C X94TH8/FLIP 86-6C//FLIP 90-109C	۸
ICARDA	FLIP97-530C X94TH103//FLIP 91-186C/FLIP 91-96C/3/FLIP 90-	۹
ICARDA	FLIP98-121C X95TH42/FLIP 90-15C/ILC 5362/3/FLIP 93-2C	۱۰
ICARDA	FLIP09-37C X04TH73/FLIP97-195C//FLIP98-108C/3/FLIP96-154C	۱۱
ICARDA	FLIP09-58C X04TH176/FLIP95-68C//FLIP97-205C	۱۲
ICARDA	FLIP09-229C S00794(30 KR)-13/FLIP	۱۳
ICARDA	FLIP09-285C X04TH143/FLIP00-6C//FLIP97-205C	۱۴
ICARDA	FLIP09-289C X04TH145/FLIP00-14//FLIP98-137C	۱۵
ICARDA	FLIP09-297C X04TH149/S00547//FLIP98-233C	۱۶
IRAN	عادل / ADEL- FLIP 99-66C	۱۷
IRAN	آزاد / AZAD-FLIP 93-93C	۱۸

جدول ۲. ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

منطقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)
گچساران	۷۱۰	۵۰°، ۵۰' شرقی	۳۰°، ۱۷' شمالی	۴۵۰
گنبد	۴۵	۵۵°، ۱۳' شرقی	۳۷°، ۱۶' شمالی	۵۵۰
ایلام	۹۷۵	۳۳°، ۴۷' شرقی	۴۶°، ۳۶' شمالی	۳۵۰
خرم‌آباد	۱۱۴۷	۴۸°، ۱۸' شرقی	۳۳°، ۲۹' شمالی	۴۴۵

جدول ۳. بارندگی سال زراعی در مناطق محل اجرای پژوهش طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۵

منطقه	۹۶-۱۳۹۵	۹۷-۱۳۹۶	۹۸-۱۳۹۷
گچساران	محیط اول (۲۳۶/۹)	محیط پنجم (۱۷۶/۸)	محیط نهم (۷۶۴/۴)
خرم‌آباد	محیط دوم (۴۱۶/۳)	محیط ششم (۴۸۸/۴)	محیط دهم (۹۵۳/۰)
گنبد	محیط سوم (۳۳۲/۶)	محیط هفتم (۳۴۴/۱)	محیط یازدهم (۶۲۷/۷)
ایلام	محیط چهارم (۴۰۸/۹)	محیط هشتم (۴۹۶/۴)	محیط دوازدهم (۹۰۰/۹)

داده‌های هیچ‌کدام از محیط‌ها، تجزیه مرکب برای کل داده‌ها انجام پذیرفت. تجزیه واریانس مرکب اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ  $\times$  محیط در سطح احتمال یک درصد را نشان داد (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد است، به عبارت دیگر در مکان‌ها و سال‌های مختلف، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه عملکرد متفاوتی را نشان دادند. اثر معنی‌دار محیط، تفاوت عملکرد دانه در محیط‌ها را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز نشان‌دهنده این است که عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر اختلاف دارد. در تطابق با نتیجه پژوهش حاضر، پژوهشگران دیگری نیز اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را در پایداری عملکرد دانه نخود گزارش کردند (Zali *et al.*, 2008; Yaghotipoor & Farshadfar, 2007; Danyali *et al.*, 2012).

## تجزیه‌های آماری

پیش از انجام تجزیه مرکب و تجزیه پایداری با روش GGE بای‌پلات، تجزیه واریانس جداگانه در هرکدام از محیط‌ها انجام شد و سپس یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از بسته‌های (Olivito & Lucio, 2020; Bernarl *et al.* GGEbiplotGUI (2016) در نرم‌افزار R انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده برای هر یک از محیط‌ها (ترکیب سال و مکان) به صورت جداگانه انجام شد که نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایشی بود (نتایج ارائه نشده است). برای انجام تجزیه مرکب، ابتدا آزمون یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد که نتیجه نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی بود و بنابراین بدون حذف

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در چهار منطقه به مدت سه سال

میزان F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۵۸/۱۹**	۱۳۶۲۳۶۳۶	$۱/۵ \times ۱۰^۸$	۱۱	محیط
-	۲۳۴۰۸۶	۵۶۱۸۰۶۹	۲۴	خطای محیط
۳/۸۰**	۲۹۱۹۸۲	۴۹۶۳۷۰۱	۱۷	ژنوتیپ
۱/۴۶**	۱۱۲۳۵۱	۲۱۰۰۹۶۴۲	۱۸۷	ژنوتیپ در محیط
-	۷۶۸۱۵	۳۱۳۴۰۳۷۶	۴۰۸	خطا
		۱۹٪/۲		ضریب تغییرات

GGE (شکل ۱) محیط‌های آزمایش (ترکیب سال و مکان) در چهار ناحیه مجزا قرار گرفتند. هشت محیط از این آزمایش در ناحیه اول چندضلعی قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۵ به عنوان برترین و پایدارترین ژنوتیپ در این ناحیه انتخاب شد. در این ناحیه که محیط‌های ۳، ۶، ۲، ۴، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ قرار داشتند، علاوه بر ژنوتیپ ۵، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹، ۱۷، ۱۸ و ۱۶ نیز واقع بودند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها، سازگارترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های یادشده بودند. در بخش بعدی این چندضلعی ژنوتیپ ۱۴ و محیط ۹ قرار داشت. سال‌های اول و دوم و سوم ایستگاه ایلام در سه ناحیه متفاوت قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۱۵ در دو محیط سال اول گچساران و سال دوم گچساران به عنوان پایدارترین ژنوتیپ در این ناحیه انتخاب شد. در بخش‌های بعدی به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲ (و ژنوتیپ‌های ۳، ۶ و

## تجزیه پایداری

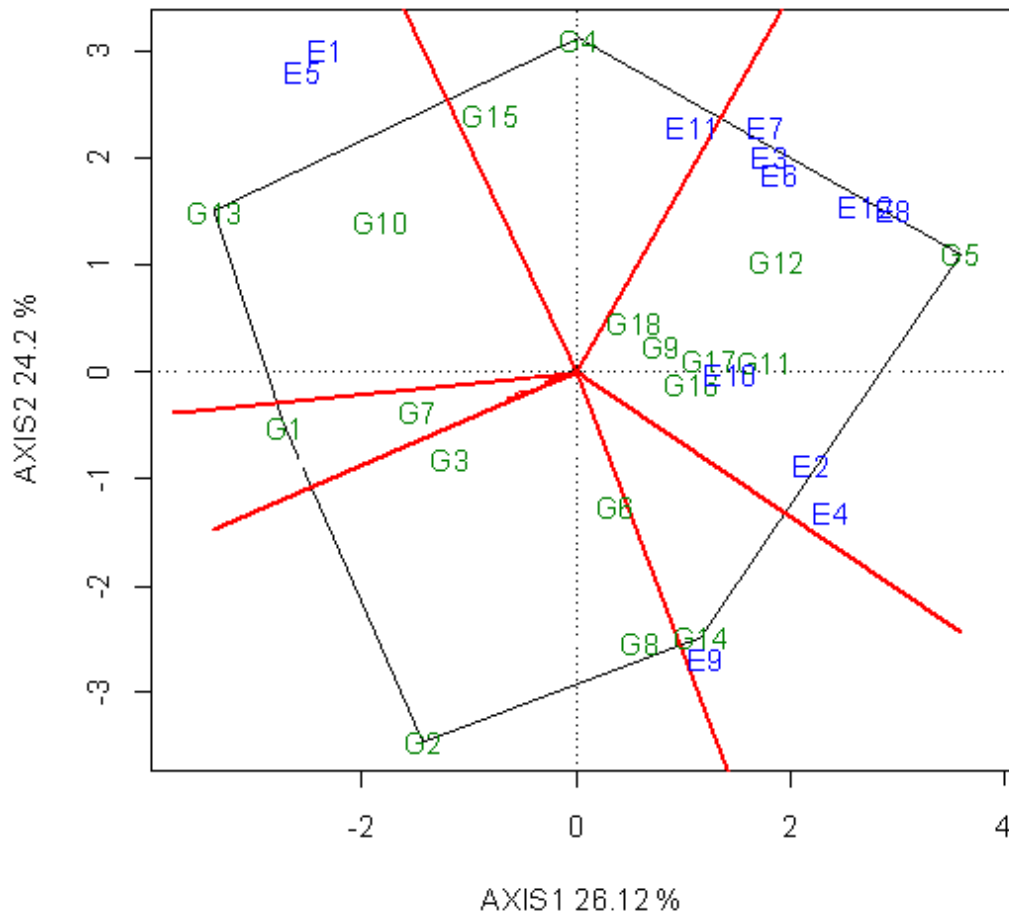
دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۵۰/۳۲ درصد (به ترتیب ۲۶/۱۲ و ۲۴/۲) از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. پژوهشگران دیگری هم سهم متوسط به پایین دو مؤلفه اصلی اول را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط در عملکرد دانه نخود گزارش کرده‌اند (Pouresmael *et al.*, 2018).

نمای چندضلعی بای‌پلات یا "کدام برتر کجا؟" از متصل کردن ژنوتیپ‌های جای گرفته در دورترین نقطه از مرکز بای‌پلات کشیده می‌شود، به طوری که، همه ژنوتیپ‌ها در درون این چندضلعی قرار گیرند. دورترین ژنوتیپ‌ها از مرکز، در واقع ژنوتیپ‌های با بهترین عملکرد در محیط‌های زیرمجموعه خود یا محیط‌های درون آن بخش هستند (Yan, 2001). در بای‌پلات به دست آمده از مدل

ژنوتیپ‌های ۱۸، ۹، ۱۷ و ۱۶ و تا حدودی ۳ و ۷ در مبدأ بای‌پلات می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری عمومی نگریده شوند. در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای‌پلات، ژنوتیپ‌های پایدار نخود را شناسایی کردند (Pezeshkpour *et al.*, 2019; Danyali *et al.*, 2012).

۸ درون بخش مربوطه) و ۱ (و ژنوتیپ ۷ درون آن) قرار داشتند که هیچ محیطی برای این دو بخش مناسب نبودند. در بخش پنجم که ژنوتیپ ۳ در رأس آن و ژنوتیپ ۱۰ درون آن بود، مناسب محیط‌های ۱ و ۵ بودند. در بخش ششم ژنوتیپ ۴ در رأس چندضلعی و ژنوتیپ ۱۵ درون آن واقع بود و برای محیط ۱۱ مناسب بود.

### Which Won Where/What



شکل ۱. نمای چندضلعی GGE بای‌پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ نخود آزمایش‌شده در ۱۲ محیط. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

دانه را نسبت به متوسط عملکرد دانه نشان دادند و بقیه‌ی ژنوتیپ‌ها عملکردی کمتر از میانگین کل داشتند (شکل ۲). در این نمای بای‌پلات فاصله عمودی ژنوتیپ‌ها از محور ATC نمایانگر ناپایداری یک ژنوتیپ است. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۴، ۱۵، ۱، ۱۳، ۸ و ۱۴ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و عملکرد بسیار متغیری در محیط‌های مختلف نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۸ و ۹ نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به محور ATC و در نتیجه پایدارترین

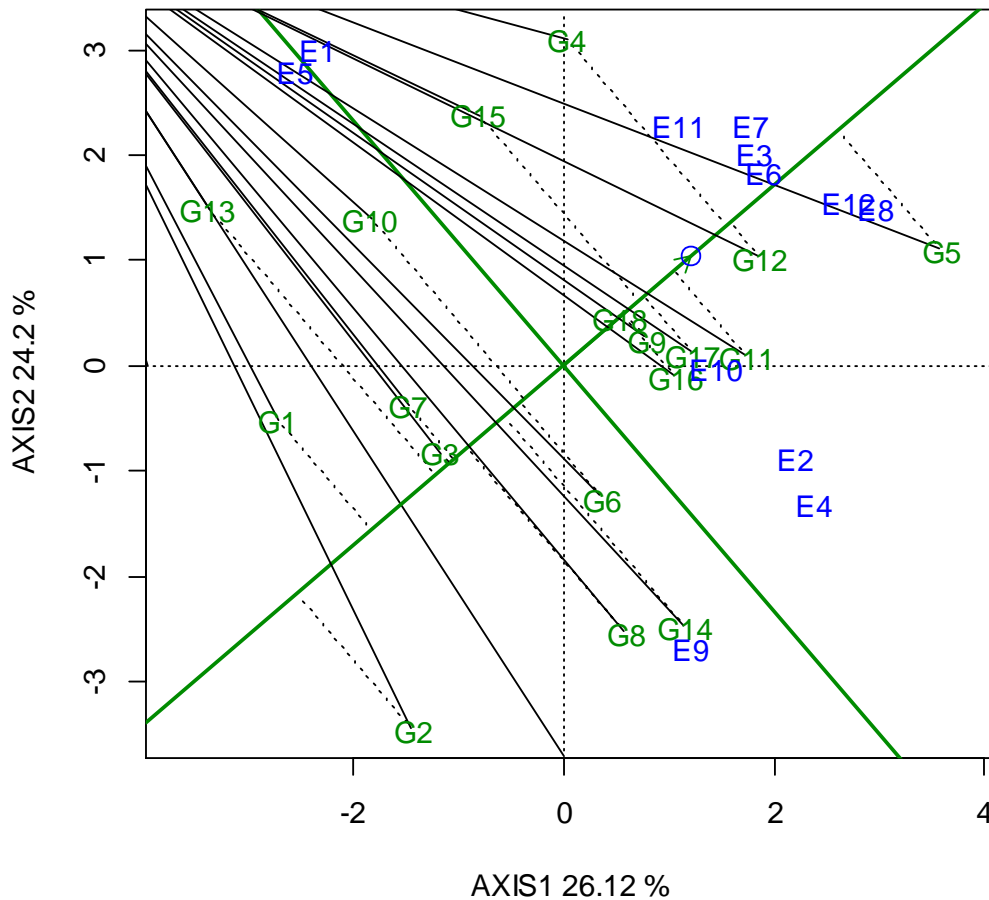
بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از تعریف یک محیط متوسط<sup>۱</sup> و بای‌پلات GGE در شکل ۲ نشان داده شده است. محیط متوسط در واقع یک محیط مجازی است که به‌وسیله دایره‌ای کوچک نشان داده شد و نزدیک به انتهای فلش محور ATC قرار دارد. در نمای تستر متوسط بای‌پلات، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۴، ۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۹ و ۱۸ میزان عملکرد

1. Average Tester Coordinate

ژنوتیپ‌های ۳ و ۷ هم دارای پایداری عملکرد بالایی بودند، ولی به دلیل عملکرد پایین، این سه ژنوتیپ انتخاب نشدند (شکل ۳).

آن‌ها بودند و در ضمن متوسط عملکرد بالایی در محیط‌های مختلف داشتند. ژنوتیپ ۵ با آنکه بیشترین عملکرد دانه را داشت، اما پایداری آن در مقایسه با سه ژنوتیپ بالا اندکی کمتر بود.

### Mean vs. Stability



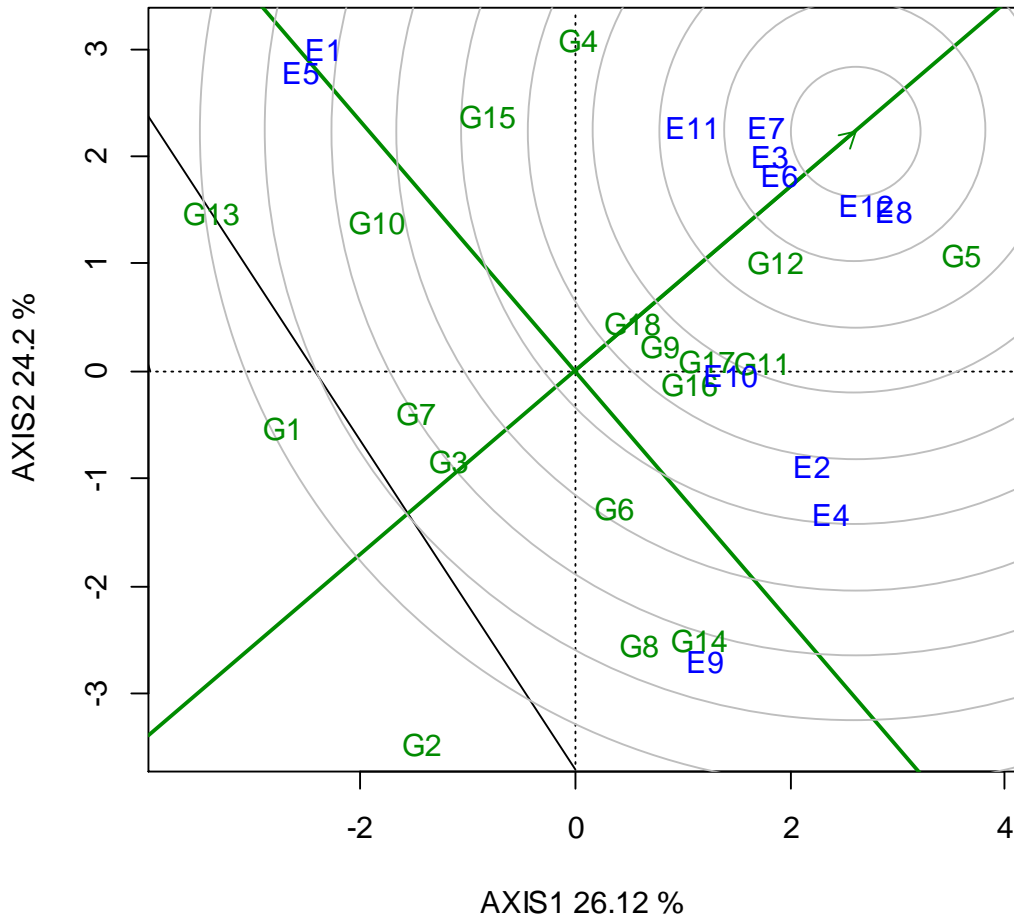
شکل ۲. نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از بای پلات GGE بر اساس داده‌های عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ نخود آزمایش شده در ۱۲ محیط. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

عملکرد و پایداری است، به طوری که هر اندازه فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ ایده‌آل بیشتر شود، از مطلوبیت آن ژنوتیپ کاسته می‌شود. این نمای بای پلات، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۲ در دومین حلقه و ژنوتیپ‌های ۴، ۹، ۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ در حلقه چهارم بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و عملکرد دانه بودند؛ و ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۱۳ نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر این دو ویژگی بودند (شکل ۳).

ژنوتیپ ایده‌آل که با یک دایره کوچک بر روی بُعد افقی ATC و یک فلش اشاره‌کننده به سوی آن مشخص می‌شود، با آنکه می‌تواند در واقعیت وجود نداشته باشد، به عنوان مرجعی است که سودمندی ژنوتیپ را ارزیابی می‌کند (Kroonenberg, 1995) و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار با آن گزینش می‌شود (Yan & Kang, 2003). فاصله ژنوتیپ‌ها از معیاری برای گزینش ژنوتیپ ایده‌آل معیاری از میزان مطلوبیت آن از نظر میانگین



### Ranking Genotypes

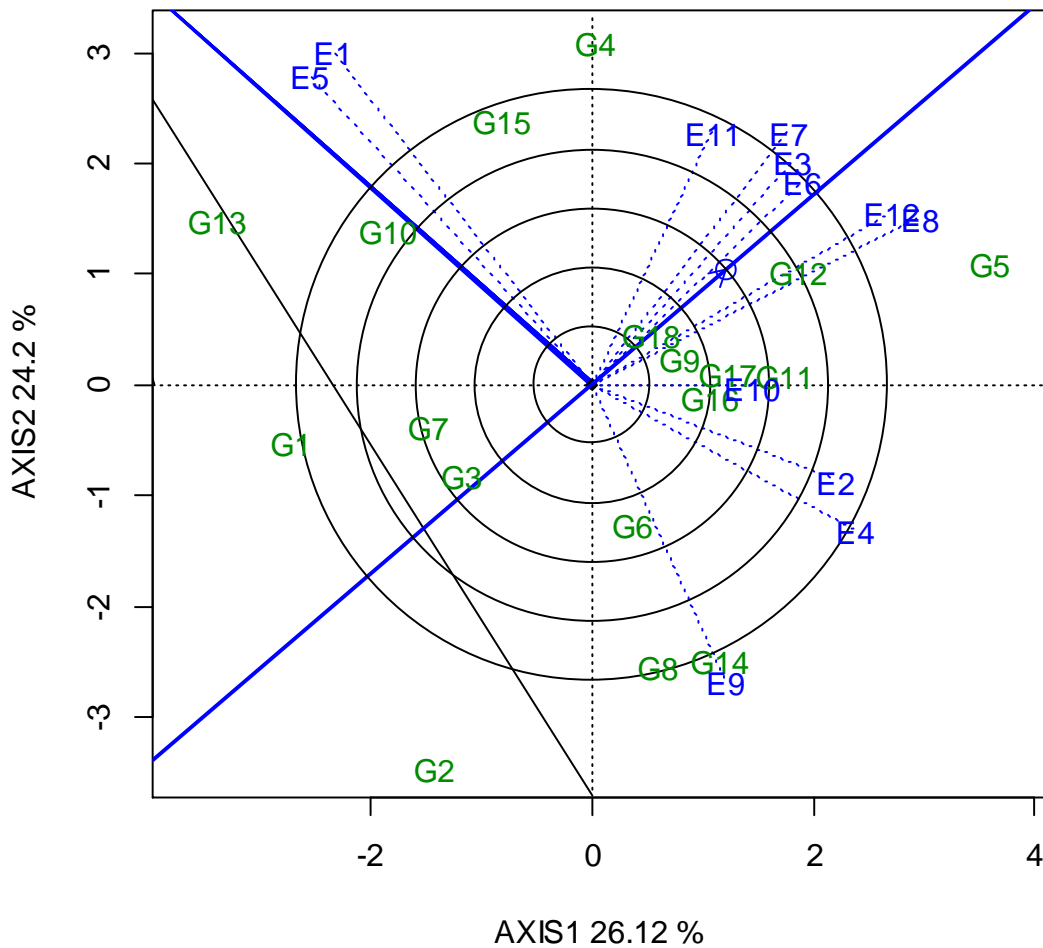


**شکل ۳.** GGE بای‌پلات بر اساس مقیاس‌بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

اندازه بردار محیطی بلندتر باشد، آن محیط می‌تواند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به درستی برآورد کند. بر این اساس محیط‌های ۱، ۵، ۱۲ و ۸ بیشترین توانایی جداکنندگی را داشتند. از سوی دیگر زاویه کمتر هر محیطی با محور ATC نمایانندگی<sup>۲</sup> آن محیط را نشان می‌دهد (Yan *et al.*, 2000)، که بر این اساس محیط‌های ۳، ۶، ۸ و ۱۲ بیشترین نمایانندگی و محیط‌های ۱، ۵، ۹، ۴ و ۲ کمترین نمایانندگی را داشتند که این محیط‌ها کمتر مفید هستند و اطلاعات تمایز کمی درباره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند (شکل ۵).

در شکل ۴ که نمای برداری GGE بای‌پلات است، محیط‌ها با خط‌هایی به مبدأ بای‌پلات وصل شده‌اند که با آن می‌توان به درکی از روابط بین محیط‌ها دست یافت (شکل ۵). این نمای بای‌پلات، با بررسی همبستگی بین محیط‌ها به حفظ یا حذف محیط‌ها در آزمایش‌های بعدی کمک می‌کند که می‌تواند سبب کاهش هزینه و افزایش بازده اصلاحی شود (Yan & Rajcan, 2002). محیط‌های ۱ و ۵ دارای همبستگی با یکدیگر بودند. در سوی دیگر، محیط‌های ۱۱، ۷، ۳ و ۶ دارای همبستگی با یکدیگر و محیط‌های ۱۲ و ۱۸ و محیط‌های ۲ و ۴ نیز با یکدیگر همبستگی بیشتری داشتند (شکل ۵). همچنین بلندی بردارهای محیطی می‌تواند توانایی جداکنندگی یا تمایز<sup>۱</sup> محیط‌ها را مشخص کنند، به شکلی که هر

### Discrimitiveness vs. representavenss

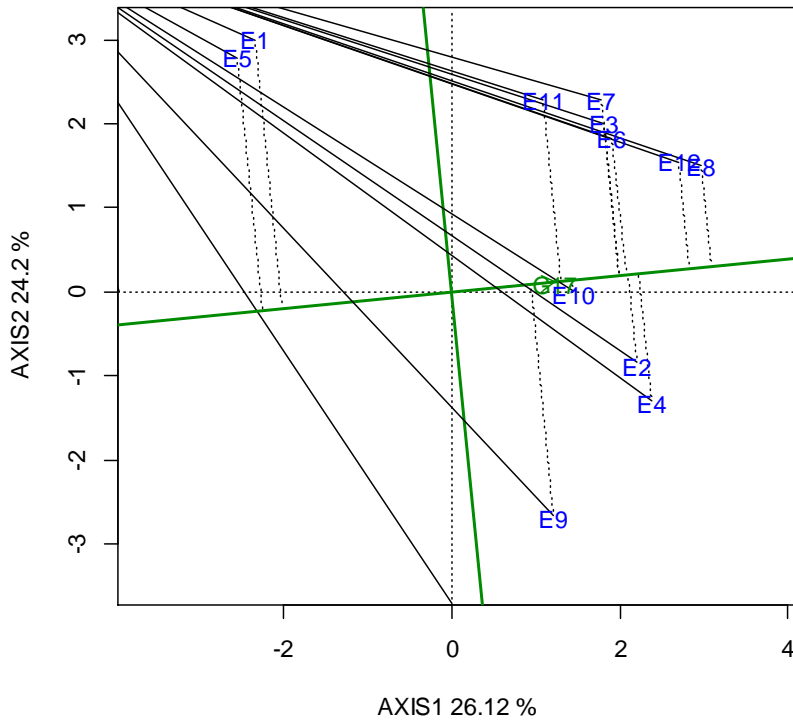


**شکل ۴.** نمای برداری GGE بای پلات که روابط بین محیط‌های آزمایش را نشان می‌دهد. AXIS1 و AXIS1 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

شد. در ۱۰ محیط از ۱۲ محیط عملکرد رقم عادل بالاتر از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها بود، که نشان از دقت در معرفی این رقم به عنوان یک رقم پرمحصول دارد (شکل ۵). ژنوتیپ ۱۸ (رقم آزاد) نیز در ۱۰ محیط عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها داشت (شکل ۶).

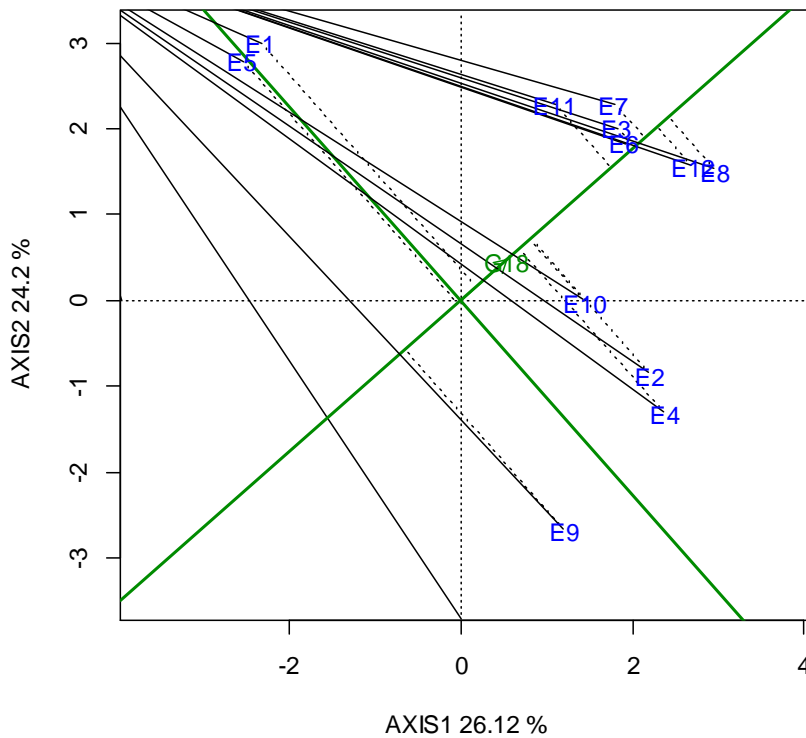
در ادامه سازگاری نسبی یک ژنوتیپ ویژه به محیط‌های مختلف ارزیابی شد، که برای این کار یک خط از مبدأ بای پلات به جایگاه آن ژنوتیپ کشیده می‌شود و به آن محور ژنوتیپ می‌گویند (Yan & Kang, 2003). بای پلات ژنوتیپ محور برای ژنوتیپ‌های شاهد G17 (رقم عادل) و G18 (رقم آزاد) کشیده

**Examine a Genotype**



شکل ۵. مقایسه عملکرد رقم G17 (عادل) در محیط‌های مختلف. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

**Examine a Genotype**



شکل ۶. مقایسه عملکرد رقم G18 (آزاد) در محیط‌های مختلف. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

بسیاری از محیط‌ها بودند. همچنین ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۶ در مرکز بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی مناسب بودند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها می‌توانند کاندیدای معرفی ارقام جدید باشند.

## نتیجه‌گیری

کاربرد روش رگرسیون مکانی (GGE biplot) به دلیل ویژگی‌های برجسته‌ای مانند: نمایش گرافیکی "عملکرد و پایداری"، قدرت تمایز و نماینده‌بودن محیط‌های آزمایشی و نمایش گرافیکی "کدام برتر کجا" بسته به هدف تحقیق توصیه می‌شود. هرچند کمتر از دو روش آمی و رگرسیون مکانی در یک پژوهش استفاده شده ولی ارزیابی نتایج این دو روش بسیار جالب خواهد بود. در مجموع ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۲ با بالاترین میانگین عملکرد در مقایسه با میانگین کل و همچنین شاهد ژنوتیپ‌های سازگار به

## References

- Bernal, E. F., Villardon, P. G., Bernal, M. E. F., & Bwidget, S. (2016). Package 'GGEBiplotGUI'. Available in: <https://cran.r-project.org/web/packages/GGEBiplotGUI>.
- Danyali, S. F., Razavi, F., Segherloo, A. E., Dehghani, H., & Sabaghpour, S. H. (2012). Yield Stability in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Study Relationship among the univariate and multivariate stability Parameters. *Research in Plant Biology*, 2(3).
- FAO. (2021). Food Outlook, Global Market Analysis. [http://www.fao.org/food-outlook.com](http://www.fao.org/food-outlook).
- Flores, F., Moreno, M. T., & Cubero, J. I. (1998). A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G × E interaction. *Field crops research*, 56(3), 271-286.
- Kanouni, K., Farayedi, Y., Sabaghpour, S. H., & Saeid, A. (2016). Assessment of genotype × environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. *Iranian Society of Crop Sciences*, 18(1), 61-73. (in persian)
- Karimizadeh, R., Keshavarzi, K., Karimpour, F. & Sharifi, P. (2021). Analysis of screening tools for drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Agricultural Science Digest*, 41(1), 1-11.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghni, N., Mahmoodi, A. A., Roustami, B., Seyyedi, F., & Akbari, F. (2013). GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(2), 256-262.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Shefazadeh, M. K., & Pouralhosini, J. (2012). Univariate stability analysis methods for determining genotype × environment interaction of durum wheat grain yield. *African Journal of Biotechnology*, 11(10), 2563-2573.
- Kumara Charyulu, D., & Deb, U. (2014). Proceedings of the "8th International Conference viability of small farmers in Asia". International Conference on Targeting of Grain Legumes for Income and Nutritional Security in South Asia, Savar, Bangladesh.
- Kroonenberg P. M. (1995). *Introduction to biplots for G × E tables*. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia: Univ. of Queensland.
- Malunga, L. N., Bar-El, S. D., Zinal, E., Berkovich, Z., Abbo, S., & Reifen, R. (2014). The potential use of chickpeas in development of infant follow-on formula. *Nutrition Journal*, 13(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-8>.
- Merga, B., Haji, J., & Yildiz, F. (2019). Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-12.
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. C. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789.
- Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A., & Barzali, M. (2019). Yield Stability of chickpea promising Genotypes in autumn planting of Using GGE biplot. *Agronomy and Plant Breeding*, 15(1), 29-43. (in persian)
- Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihassani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M., & Mozaffari, J. (2018). Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(2), 387-400.
- Rao, A. R., & Prabhakaran, V. T. (2000). On some useful interrelationships among common stability parameters. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 60(01), 25-36.

- Redden, R. J., & Berger, J. D. (2007). Chickpea breeding and management: History and origin of chickpea. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Wood, J. A., & Grusak, M. A. (2007). Nutritional value of chickpea. *Chickpea Breeding and Management*, 101-142.
- Yaghotipoor, A., & Farshadfar, E. (2007). Non-parametric estimation and component analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 10(16), 2646-2652.
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.
- Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1), 11-20.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop science*, 40(3), 597-605.
- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., & Karimizadeh, R. (2012). Evaluation of genotype× environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3(7), 3126-3136.
- Zali, H., Sabaghpour, S. H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., & Hashem Beygi, A. (2008). Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *JWSS-Isfahan University of Technology*, 11(42), 173-180. (in persian)