

## Evaluation of genotype $\times$ environment interaction of advanced rainfed lentil genotypes by multivariate GGE biplot method

Amin Namdari<sup>1\*</sup>, Payam Pezeshkpoor<sup>2</sup>, Asghar Mehraban<sup>3</sup>,  
Amir Mirzaie<sup>4</sup>, Behruz Vaezi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran, Email: aminnamdari61@gmail.com

<sup>2</sup> Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran, Email: papezeshkpoor@yahoo.com

<sup>3</sup> Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran, Email: asgharmehraban@gmail.com

<sup>4</sup> Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran, Email: amir.mirzaei53@gmail.com

<sup>5</sup> Instructor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran, Email: bvaezi2009@gmail.com

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 2021/11/16  
Revised: 2022/02/11  
Accepted: 2022/03/5

**Keywords:**  
Ideal genotype  
Principal components  
Semi-tropical climate  
Temperate climate  
Yield stability

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Considering the shortcomings regarding lentil cultivars compatible with temperate and semi-temperate rainfed regions of the country, introducing new cultivars with high yield in these regions is very important and may reduce some limitations in lentil productions. In addition to high yield, these genotypes must have yield stability in different regions with relatively similar climate. In the present study, in continuation of lentil breeding programs in temperate and subtropical climates, advanced lentil genotypes selected from previous years experiments, were evaluated by GGE biplot method as uniform multi-environments trial, to identify the best genotype (s) with high grain yield and stability.

**Materials and methods:** In order to evaluate yield stability of rain-fed lentil genotypes, the present study was conducted based on randomized complete block design with three replications with 14 advanced genotypes along with two local cultivars (G15: Gachsaran and G16: Sepehr) over two years (2018 and 2019). The experiment's locations were Gachsaran, Khormeh Abad, Ilam and Moghan.

**Results:** Principal component analysis in the GGE biplot model showed that 47.1% of the variations caused by the first two components (PC1, PC2). The mosaic plot revealed that the contribution of diversity due to genotype  $\times$  environment interaction was significantly higher than the diversity caused by genotype (G) alone. Using GGE biplot model and based on representativeness and discriminating ability, Gachsaran region was identified as a desirable environment to identify variation among genotypes. G11 was the closest genotype to the ideal genotype in terms of grain yield. This genotype had the highest yield among genotypes and was in a moderate position in terms of stability. Genotype 9 was in the second place in terms of yield but had high yield stability since was the closest genotype to the ideal genotype in terms of stability. Genotypes 10 and 1 were also in the next ranks considering both yield and stability. G15 and G16 as local cultivars showed relatively low grain yield and stability compared to the most of

---

---

advanced genotypes.

**Conclusion:** Considering both grain yield and yield stability, G9, G11, G10, G1 genotypes were selected. These genotypes were significantly superior to control cultivars (genotypes 15 and 16) in terms of both yield and yield stability.

---

---

Cite this article: Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Mirzaie, A., Vaezi, B. 2022. Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction of advanced rainfed lentil genotypes by multivariate GGE biplot method. *Crop Production Journal*, 15 (2), 203-218.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19702.2471

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۲۳۹۸  
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



# ارزیابی برهم کنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس دیم با روش چند متغیره GGE biplot

امین نامداری<sup>۱\*</sup>، پیام پزشکپور<sup>۲</sup>، اصغر مهربان<sup>۳</sup>، امیر میرزایی<sup>۴</sup>، بهروز واعظی<sup>۵</sup>

۱. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران. رایانامه: aminnamdari61@gmail.com
۲. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران، رایانامه: papezeshkpour@yahoo.com
۳. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران، رایانامه: asgharmehraban@gmail.com
۴. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران، رایانامه: amir.mirzaei53@gmail.com
۵. مربی، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران، رایانامه: bvaezi2009@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: با توجه به کمبودهای موجود در زمینه رقم‌های عدس سازگار به مناطق دیم معتدله و نیمه گرم کشور، شناسایی ژنوتیپ‌های واجد پتانسیل جهت معرفی به عنوان رقم، بسیار مهم می‌باشد و در واقع می‌تواند بخشی از محدودیت‌ها در زمینه عملکرد عدس در این مناطق را برطرف نماید. این ژنوتیپ‌ها افزون بر عملکرد بالا، باید واجد پایداری عملکرد در مناطق گوناگون و به عبارتی سازگاری عمومی، باشند. در این راستا، در ادامه برنامه‌های به‌نژادی عدس در اقلیم معتدل و نیمه گرم، ژنوتیپ‌های عدس پیشرفته برگزیده از آزمایش‌های سال‌های گذشته، در قالب آزمایش چندمحیطی، جهت شناسایی برترین ژنوتیپ(ها) با سازگاری عمومی قابل قبول و عملکرد بالا، با روش چند متغیره GGE بای پلات مورد ارزیابی قرار گرفتند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴	مواد و روش‌ها: به منظور بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس، پژوهش حاضر با ۱۴ ژنوتیپ برگزیده برنامه به‌نژادی سال‌های گذشته به همراه دو رقم گچساران و سپهر به عنوان شاهد طی دو سال (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و در چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، ایلام و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت.
واژه‌های کلیدی: اقلیم معتدل اقلیم نیمه گرم پایداری عملکرد ژنوتیپ ایده‌آل مولفه‌های اصلی	یافته‌ها: تجزیه به مولفه‌ها در مدل GGE بای پلات نشان داد که ۴۷/۱ درصد تنوع، توسط دو مولفه نخست، توجیه می‌شود. نمودار موزاییکی آشکار ساخت که سهم تنوع ناشی از برهم کنش ژنوتیپ × محیط، به‌طور قابل توجهی بالاتر از تنوع ناشی از ژنوتیپ به تنهایی است. با استفاده از مدل GGE بای پلات و در نظر گرفتن دو ویژگی توان تمایز و نمایندگی، محیط‌های ۱ و ۲ مربوط به منطقه گچساران به‌عنوان محیط مطلوب جهت تفکیک ژنوتیپ‌ها، شناسایی شدند. بای پلات روابط میان محیط‌ها، آشکار ساخت که همبستگی هیچ یک از مناطق خرم‌آباد، گچساران، مغان و ایلام به نحوی نبود که بتوان گفت که برخی از مناطق یادشده می‌توانند از یکدیگر نمایندگی کنند و به نحوی امکان کاهش مکان‌های اجرای

---

آزمایش در آینده وجود داشته باشد. ژنوتیپ ۱۱ از نظر عملکرد، نزدیک‌ترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل داشت. این ژنوتیپ در محور عملکرد، واجد بالاترین عملکرد بود و از نظر پایداری نیز در وضعیت متوسط قرار داشت. ژنوتیپ ۹، از نظر عملکرد در رتبه دوم قرار داشت ولی پایداری عملکرد بهتری از ژنوتیپ ۱۱ و سایر ژنوتیپ‌ها داشت و در واقع از نظر پایداری نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بود. ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱ نیز در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. G15 و G16 به‌عنوان رقم‌های شاهد، عملکرد و پایداری نسبتاً پایینی نسبت به بیش‌تر ژنوتیپ‌های پیشرفته نشان دادند.

**نتیجه‌گیری:** با در نظر گرفتن هر دو فاکتور عملکرد و پایداری عملکرد در محیط‌های گوناگون، ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱، ۱۰ و ۱، ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. این ژنوتیپ‌ها از هر دو رقم شاهد گجساران و سپهر به‌طور قابل توجهی هم از نظر عملکرد و هم پایداری عملکرد، برتر بودند.

---

استناد: نامداری، ا.، پزشکپور، پ.، مهربان، ا.، میرزایی، ا.، واعظی، ب. (۱۴۰۱). ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس دیم با روش چند متغیره GGE biplot. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۲)، ۲۱۸-۲۰۳.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19702.2471



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، موجب تفاوت در عملکرد ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی در محیط‌های گوناگون می‌شود. آزمایش عملکرد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های گوناگون، موجب برآورد برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌هایی با برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط کم‌تر گزینش می‌شوند (۱). روش‌های گوناگونی برای ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط وجود دارند که شامل روش‌های تک‌متغیره (پارامتری و ناپارامتری) و روش‌های چندمتغیره می‌باشند. هرچند استفاده از روش‌های تک‌متغیره از هر دو نوع پارامتری و ناپارامتری، آسان است، اما این روش‌ها به خوبی نمی‌توانند ماهیت پیچیده برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را تفسیر نمایند. از این‌رو، کاربرد روش‌های چندمتغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (۲). پایداری عملکرد یک ژنوتیپ را می‌توان ثبات عملکرد آن در محیط‌های گوناگون تعریف نمود و در این‌باره دو مفهوم پایداری استاتیک (زیستی) و پایداری پویا (زراعی) وجود دارند. پایداری زیستی به منزله پاسخ محدود ژنوتیپ به تغییرات محیطی است و پایداری پویا به مفهوم پیش‌بینی پذیری واکنش ژنوتیپ به دگرگونی‌های محیطی می‌باشد (۳). پایداری زیستی عموماً به ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین مربوط می‌باشد، در حالی که در پایداری زراعی، پتانسیل عملکرد بالا نیز مورد توجه است (۴).

در آزمایش‌های چند محیطی به سبب وجود برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، گزینش ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی دشوار می‌باشد. در این آزمایش‌ها می‌توان با استفاده از روش GGE بای پلات و با لحاظ نمودن اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، دو مؤلفه اول و دوم را تعریف

نموده و پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها را به‌طور هم‌زمان سنجید (۵). بهره‌گیری از مدل GGE بای پلات، گزینش ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس هر دو اثر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را ممکن می‌کند. مدل GGE بای پلات یکی از متداول‌ترین روش‌های چندمتغیره در ارزیابی و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط است که همانند روش AMMI<sup>۱</sup> بر پایه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام می‌شود (۶). با بهره‌گیری از نمودارهای ارائه شده در روش GGE بای پلات می‌توان پی برد که کدام رقم در کدام محیط، واکنش بهتری نشان داده است (۷). در مقایسه روش GGE بای پلات با روش AMMI به‌عنوان دیگر روش مهم تجزیه پایداری چندمتغیره، گزارش شده است که GGE بای پلات به منظور تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، توانمندتر از روش AMMI می‌باشد (۸). در آزمایش‌های چندمحیطی اثر مکان در بیش‌تر موارد بسیار بزرگ است، اما در عین حال قابل تجزیه و تحلیل و ارزیابی نیست. بنابراین، حذف اثر مکان و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، در رسیدن به نتایج قابل اطمینان‌تر، می‌تواند موثر باشد (۵). در روش GGE بای پلات، از اثر ساده ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادتری را به‌دست آورد (۹، ۱۰). با توجه به کارایی روش GGE بای پلات، از این روش در سنجش پایداری گونه‌های مختلف زراعی به‌طور موفقیت‌آمیزی بهره گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به جو (۱۱)، کلزا (۱۲)، برنج (۱۳)، گندم دوروم (۱۴) اشاره نمود.

با توجه به کمبودهای موجود در زمینه رقم‌های عدس سازگار به مناطق دیم معتدله و نیمه گرم کشور، شناسایی ژنوتیپ‌های واجد پتانسیل جهت معرفی به

عنوان رقم، بسیار مهم می‌باشد و در واقع می‌تواند بخشی از محدودیت‌ها در زمینه عملکرد عدس در این مناطق را برطرف نماید. این ژنوتیپ‌ها افزون بر عملکرد بالا باید واجد پایداری عملکرد در مناطق گوناگون و به عبارتی سازگاری عمومی باشند. در این راستا، در ادامه برنامه‌های به‌نژادی عدس در اقلیم معتدل و نیمه گرم، ژنوتیپ‌های عدس پیشرفته برگزیده از آزمایش‌های سال‌های گذشته، در قالب آزمایش‌های چندمحیطی، جهت شناسایی برترین ژنوتیپ(ها) با سازگاری عمومی قابل قبول و عملکرد بالا، با روش چند متغیره GGE بای پلات مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش عدس، پژوهش حاضر با ۱۴ ژنوتیپ برگزیده از آزمایش‌های پیشرفته به همراه دو رقم گچساران و سپهر به عنوان شاهد طی دو سال (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و در چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، ایلام و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت. خلاصه‌ای از ویژگی‌های

جغرافیایی و آب و هوایی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌اند. فهرست شجره ژنوتیپ‌های آزمایشی در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین، فهرست و شماره محیط‌های (ترکیب منطقه و سال) اجرای آزمایش در جدول ۳، ارائه شده‌اند. هر واحد آزمایشی شامل ۴ خط کاشت ۶ متری و با در نظر گرفتن تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع بود. تاریخ کاشت در مناطق مختلف متناسب با روی دادن بارندگی موثر و در حد فاصل آذرماه تا اواسط دی ماه انجام پذیرفت. پس از گردآوری داده‌های هر محیط، تجزیه واریانس ساده برای هر محیط، تجزیه واریانس ساده برای هشت محیط جداگانه انجام شد و پس از اطمینان از همگنی واریانس‌های آزمایشی به وسیله آزمون بارتلت، تجزیه مرکب برای هشت محیط انجام پذیرفت. تجزیه واریانس ساده در هر محیط و تجزیه مرکب داده‌های هشت محیط با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گردید. تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر سال و مکان انجام پذیرفت. به منظور ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط و رسم نمودارهای مربوطه، از نرم افزار GGE biplot استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش.

Table 1- Geographical and climatic characteristics of the stations.

ارتفاع از سطح دریا (متر) Height above sea level (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	بارش سال ۹۸-۹۹ 2019-2020 rainfall	بارش سال ۹۷-۹۸ 2018-2019 rainfall	مکان Location
710	50°45'E	30°15'N	435	764	گچساران (Gachsaran)
10	47°61'E	39°3'N	170	185	مغان (Moghan)
1147	48°25'E	33°30'N	523	953	خرم‌آباد (Khoram abad)
975	46°36'E	33°36'N	603	901	ایلام (Ilam)

ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه... / امین نامداری و همکاران

جدول ۲- فهرست و نام/شجره لاین‌ها و رقم‌های مورد استفاده در آزمایش.

Table 2- List and names / pedigrees of lines and cultivars used in the experiment.

Name/Pedigree نام/شجره	Number شماره	Name/Pedigree نام/شجره	Number شماره
FLIP2012-240L(ILL11215)- ILL7711XILL8176	9	FLIP2012-2L(ILL10977)- ILL7985/ILL6037	1
FLIP2012-244L(ILL11219)- ILL7711XILL5480	10	PRECOZ(ILL4605)-ILL 5888 / ILL 5782	2
FLIP2014-103L(ILL11513)-ILL9892 x ILL7978 ICARDA 3 111 139 45 4.0 732 98 C	11	FLIP2011-43L(ILL10947)-ILL 7537 X ILL 590	3
ILL8006	12	FLIP2014-021L(ILL11431)-ILL9977 x ILL 1005	4
FLIP2010-95L(ILL10825)-ILL 7620 X 91517	13	FLIP2014-032L(ILL11442)-ILL5883 x ILL6458	5
FLIP 86-16L(ILL6002)-ILL 4349 x ILL 4605	14	FLIP2014-031L(ILL11441)-ILL5883 x ILL6458	6
Gachsaran (Check 1)	15	FLIP2014-029L(ILL11439)-ILL6037 x ILL7012	7
Sepehr (Check 2)	16	FLIP2012-77L(ILL11052)- ILL6129XILL7980	8

جدول ۳- فهرست و شماره محیط‌های اجرای آزمایش.

Table 3- List and number of environments.

شماره محیط Environment number	محیط Environment	شماره محیط Environment number	محیط Environment
E5	مغان سال اول Moghan year 1	E1	گچساران سال اول Gachsaran year 1
E6	مغان سال دوم Moghan year 2	E2	گچساران سال دوم Gachsaran year 2
E7	ایلام سال اول Ilam year 1	E3	خرم آباد سال اول Khoran Abad year 1
E8	ایلام سال دوم Ilam year 2	E4	خرم آباد سال دوم Khoram abad year 2

نتایج و بحث

اول و دوم که برای رسم نمودارهای بای‌پلات مورد استفاده قرار گرفتند، به ترتیب ۲۶/۵ و ۲۰/۶ درصد از تنوع مشاهده شده را توجیه کردند. شکل ۱- B نمودار موزاییکی جهت نمایش سهم مولفه‌ها از واریانس ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط می‌باشد. اگر کل سطح مربع را ۱۰۰ درصد در نظر بگیریم، بخش‌های به رنگ سبز روشن تنوع ناشی از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و بخش‌های به رنگ سبز تیره تنوع ناشی از ژنوتیپ را نشان می‌دهند. همان‌گونه که نمایش داده شده است، در مورد همه مولفه‌ها، سهم تنوع ناشی از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، به‌طور قابل توجهی بالاتر از تنوع ناشی از ژنوتیپ است.

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط در آزمایش اخیر بسیار معنی‌دار بود که نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون دارد. بر این اساس، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط با روش GGE بای‌پلات ارزیابی شد، تا امکان شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد مناسب، فراهم شود. میانگین عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها در هر مکان طی دو سال و نیز میانگین کل مربوط به هر ژنوتیپ در هشت محیط (مکان و سال) در جدول ۵ ارائه شده‌اند. تنوع مشاهده شده به هشت مولفه تقسیم شد که در این بین چهار مولفه نخست، بخش چشم‌گیری از آن را توجیه نمودند (شکل ۱- A). مؤلفه اصلی

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های عدس در چهار منطقه طی دو سال.

Table 4- Combined analysis of variance for lentil genotypes yield in eight environment (2 years \*4 locations).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
مکان Location (L)	3	15725786 ns
سال Year (Y)	1	4730015 ns
سال × مکان Y*L	3	7154884 **
خطای ۱ E1	16	251479
ژنوتیپ Genotype (G)	15	173731 ns
ژنوتیپ × سال G*Y	15	70478 ns
ژنوتیپ × مکان G*L	45	208191 **
ژنوتیپ × سال × مکان G*L*Y	45	95528 *
خطای ۲ E2	240	65265
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		21.5

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns : non significant, \* significant at 0.05 %, \*\* significant at 0.01 %.

جدول ۵- میانگین دو ساله عملکرد ژنوتیپ‌های عدس در مناطق چهارگانه.

Table 5- Two-year average yield of lentil genotypes in four regions.

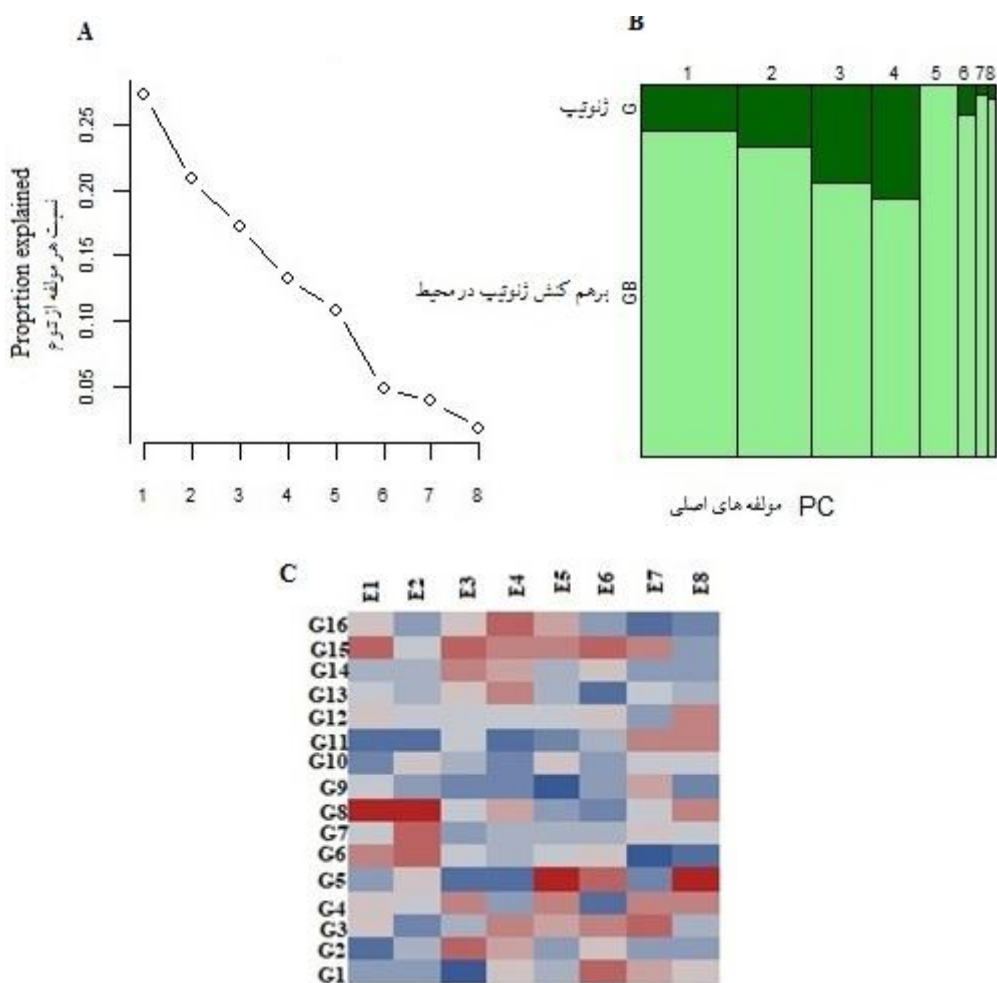
ژنوتیپ Genotype	گچساران Gachsaran	خرم‌آباد Khoram abad	مغان Moghan	ایلام Ilam	میانگین Average	ژنوتیپ Genotype	گچساران Gachsaran	خرم‌آباد Khoram abad	مغان Moghan	ایلام Ilam	میانگین Average
1	1599	1463	529	1295	1222	9	1528	1611	663	1474	1319
2	1617	1130	589	1574	1228	10	1523	1544	611	1384	1266
3	1499	1213	506	1290	1127	11	1796	1577	621	1127	1280
4	1398	1327	609	1131	1116	12	1392	1376	571	1332	1168
5	1484	1742	453	1237	1229	13	1481	1153	664	1444	1185
6	1121	1398	580	1805	1226	14	1545	1156	575	1562	1209
7	1259	1493	608	1325	1171	15	1233	1026	497	1414	1043
8	856	1238	642	1228	991	16	1461	1133	599	1695	1222

تنوع کل را توجیه نمودند. گزارش شده است که در صورتی که مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند عمده تنوع را توجیه نمایند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط است، اما الزاماً به معنای نامعتبر بودن بای پلات نیست (۱۶).

در شکل ۱-C، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به فرم نمودار گرمایی نمایش داده شده است. این شکل تصویر ساده‌تری از وضعیت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون را به نمایش می‌گذارد. در این شکل، عملکرد ژنوتیپ‌ها به صورت خانه‌هایی از رنگ آبی تیره (عملکرد بالا) تا قرمز تیره (عملکرد پایین) نمایش داده شده‌اند.

در رابطه با سهم پایین ژنوتیپ در تنوع، گزارش شده است که این موضوع می‌تواند به این سبب باشد که این ژنوتیپ‌ها پیش از رسیدن به مرحله آزمایش‌های چند محیطی، چندین مرحله آزمایش دیگر شامل ارزیابی ژرم پلاسما بین‌المللی، مقدماتی و پیشرفته را پشت سر گذاشته‌اند و ویژگی عملکرد دانه نیز مهم‌ترین شاخص‌گزینه این لاین‌ها بوده است و بنابراین، در این مرحله تنوع ژنوتیپی کم‌تری در مورد عملکرد دانه آن‌ها دیده می‌شود و عمده تنوع مشاهده شده به برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط مربوط می‌شود (۱۵). دو مؤلفه اول و دوم که در رسم نمودارهای بای پلات از آن‌ها استفاده شد، در مجموع ۴۷/۱ درصد





شکل ۱- برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GEI) ۱۶ ژنوتیپ عدس در ۸ محیط. A: ریشه مشخصه ماتریس GEI؛ B: نمودار موزائیکی سهم مولفه‌ها از واریانس GE+G؛ C: نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها.

Figure 1 – Genotype × environment interaction (GEI) for 16 lentil genotype in 8 environments. A: Characteristic root of the GEI matrix B: Mosaic plot of components share of GE + G variance. C: Thermal diagram of yield distribution of genotypes in environments.

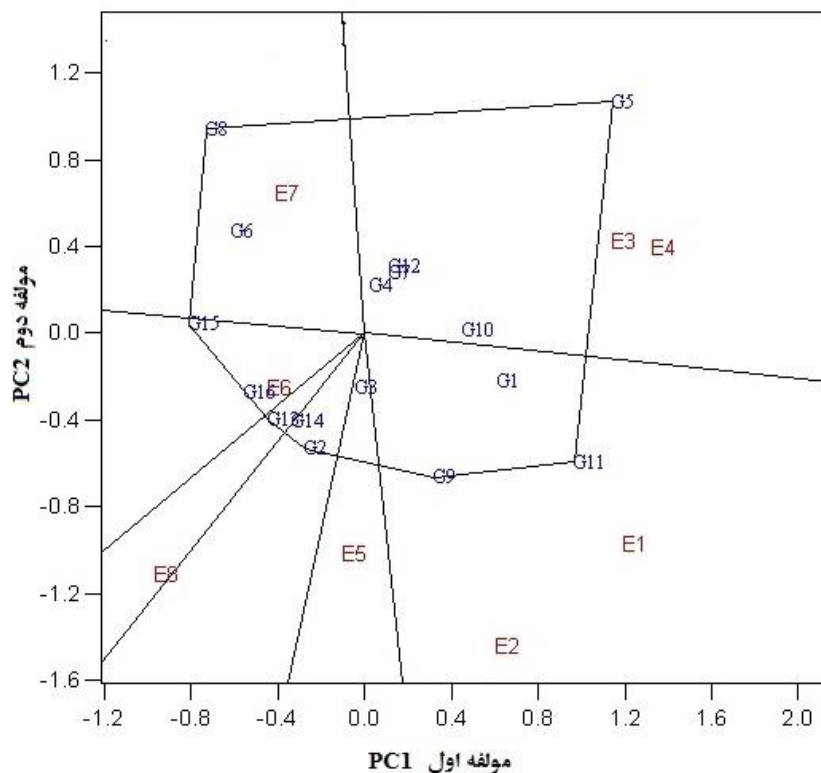
شکل می‌توان تشخیص داد که در منطقه مغان، ژنوتیپ ۱۳، واجد عملکرد بالایی بود در حالی که در سایر محیط‌ها عملکرد این ژنوتیپ در رتبه‌های پایینی قرار گرفت. در منطقه ایلام ژنوتیپ ۱۶ (رقم سپهر) در کنار ژنوتیپ ۶ واجد بالاترین عملکرد بودند، در حالی که این دو ژنوتیپ در سایر محیط‌ها از عملکرد ضعیف‌تری برخوردار بودند.

انطباق ژنوتیپ‌ها با محیط‌ها: شکل ۲ نمایش چندضلعی ۱۶ ژنوتیپ در هشت محیط را نمایش داده است. در این شکل، ژنوتیپ‌هایی که بیش‌ترین فاصله را از مبدا دارند بهم وصل شده‌اند تا یک چند ضلعی

نمونه‌ای از واکنش متفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها را می‌توان در مورد ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۵ مشاهده نمود. ژنوتیپ ۱۱ در محیط‌های ۲ و ۱ که به گچساران مربوط می‌باشند، واجد بالاترین عملکرد بود و ژنوتیپ ۵ در محیط‌های ۳ و ۴ که به خرم‌آباد مربوط هستند، بالاترین عملکرد را داشت. در حالی که در سایر محیط‌ها، عملکرد این دو ژنوتیپ نوسان زیادی داشت. بر عکس این موضوع را می‌توان در مورد ژنوتیپ ۱۲ دید که تقریباً در همه محیط‌ها عملکرد نسبتاً کم اما ثابتی داشت. در مورد دو منطقه مغان (محیط‌های ۵ و ۶) و ایلام (محیط‌های ۷ و ۸) از

هستند. خطوطی که از مرکز نمودار رسم شده‌اند، "ابر محیطها" یا محیطهای بزرگ را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در شکل مشخص است، محیط های ۱ و ۲ ابر محیط شماره ۱ را تشکیل دادند و در این ابر محیط، ژنوتیپ های ۹، ۱۱ و ۱ قرار گرفتند. هر دو محیط یاد شده (۱ و ۲) به منطقه گچساران مربوطند که در طی دو سال اجرای آزمایش، نتایج تقریباً نزدیکی در آن حاصل شد. محیط های ۳ و ۴، ابر محیط دیگری را ایجاد نموده‌اند و ژنوتیپ های ۵، ۱۰، ۴، ۷ و ۱۲ در این ابر محیط قرار گرفته‌اند. دو محیط ۳ و ۴ نیز مربوط به منطقه خرم‌آباد طی دو سال اجرای آزمایش می‌باشند.

ایجاد شود و بر پایه آن محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط شناسایی شوند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵، ۸، ۹، ۲ و ۱۲ راس‌های چند ضلعی را ایجاد نمودند. این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مربوطه بیش‌ترین یا کم‌ترین عملکرد را داشتند (۱۷). الگوی چند ضلعی بای پلات نمای مناسبی را جهت ارزیابی برهم کنش ژنوتیپ × محیط فراهم می‌آورد (۱۶). باقی‌مانده ژنوتیپ‌ها درون چند ضلعی‌ها قرار گرفتند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای پلات قرار می‌گیرند، اثر پذیری کم تری از محیط‌ها دارند و واکنش کم تری به تغییر محیط نشان می‌دهند. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۲ و ۷ نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به مرکز بای پلات



شکل ۲- نمایش چندضلعی انطباق ژنوتیپ‌ها با محیط‌های اجرای آزمایش. مولفه اول: ۲۶/۵ درصد، مولفه دوم: ۲۰/۶ درصد. محیط‌های آزمایشی: E، شماره ژنوتیپ‌ها: G.

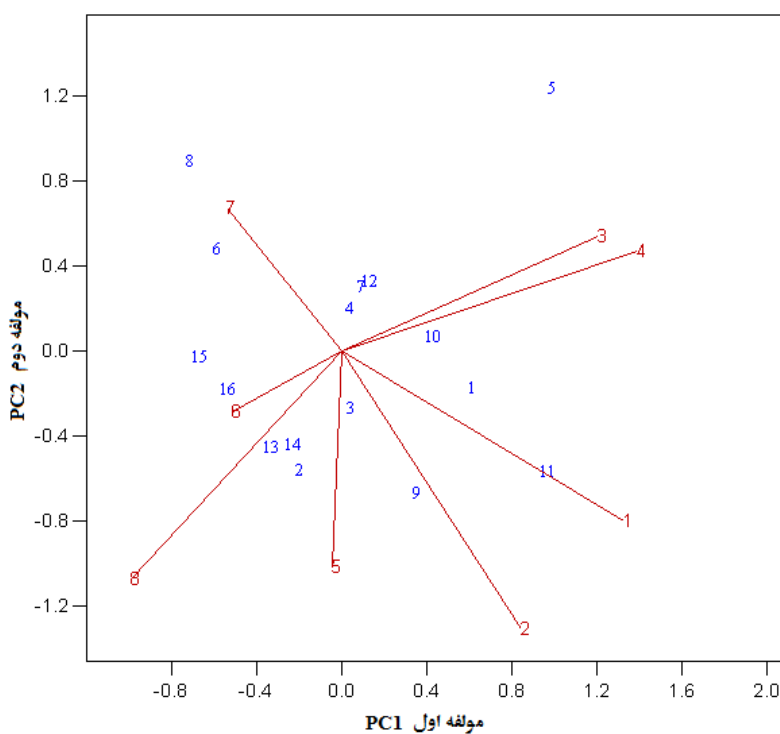
Figure 2- Polygonal representation of the genotypes adaptation to experimental environments. PC1: 26.5%, PC2: 20.6%. E: Environments, G: Genotypes numbers.

کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط، تخمینی از همبستگی میان آن دو محیط را نشان می‌دهد. زاویه

رابطه بین محیط‌ها: در شکل ۳ رابطه میان محیط‌های آزمایش نمایش داده شده است. در این شکل

این منطقه مربوط می‌شود. همبستگی هیچ یک از مناطق خرم‌آباد، گچساران، مغان و ایلام به نحوی نبود که بتوان گفت که برخی از مناطق یادشده می‌توانند از یکدیگر نمایندگی کنند و به نحوی امکان کاهش مکان‌های اجرای آزمایش در آینده وجود داشته باشد. در این رابطه گزارش شده است که در بای‌پلات مقایسه روابط میان محیط‌ها، اگر برخی از محیط‌ها همبستگی مثبت بالایی داشته باشند، یافته‌های حاصل از ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها نیز مشابهت بالایی خواهند داشت و در صورت تکرار پذیر بودن این نتایج طی چند سال، می‌توان این مکان‌ها را یکسان در نظر گرفت و تنها به اجرای آزمایش در یک مکان از بین آن‌ها اکتفا نمود که به نوبه خود به کاهش هزینه‌های اجرای آزمایش منجر خواهد شد (۸، ۱۸).

حاده نشان‌دهنده همبستگی مثبت، زاویه ۹۰ درجه نشان‌دهنده عدم همبستگی و زاویه باز نشان‌دهنده همبستگی منفی دو محیط می‌باشد (۱۷). همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، زاویه میان دو محیط ۱ و ۲ که مربوط به گچساران می‌باشند و به‌ویژه دو محیط ۳ و ۴ که مربوط به خرم‌آباد می‌باشند، زاویه‌ای حاده و نشان‌دهنده همبستگی بالای میان نتایج دو سال اجرای آزمایش در هر یک از این مناطق می‌باشد. در منطقه مغان نیز در دو سال اجرای آزمایش (محیط‌های ۵ و ۶) همبستگی مثبت اما ضعیف‌تر از دو منطقه خرم‌آباد و گچساران وجود داشت. در منطقه ایلام بین دو سال اجرای آزمایش (محیط‌های ۷ و ۸)، تقریباً هیچ همبستگی وجود نداشت که احتمالاً به تفاوت‌های قابل توجه در شرایط اقلیمی دو سال در

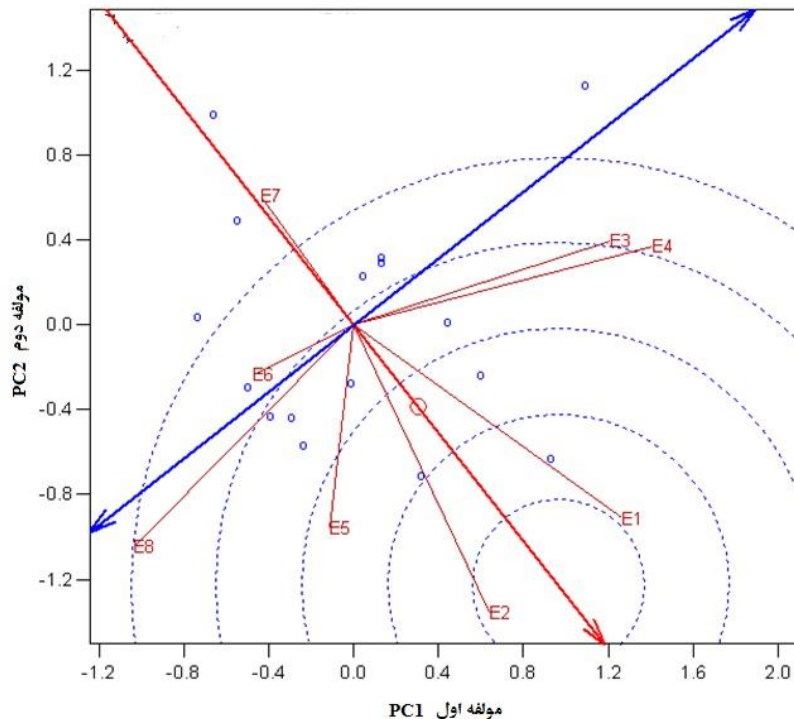


شکل ۳- بای‌پلات روابط بین محیط‌های آزمایش. مؤلفه اول: ۲۶/۵ درصد، مؤلفه دوم: ۲۰/۶ درصد. شماره‌های میان خط‌ها: شماره ژنوتیپ‌ها، شماره‌های انتهای خط‌ها: شماره محیط‌ها

Figure 3- Biplot of relationships among environments. PC1: 26.5%, PC2: 20.6% . The numbers between lines: Genotype numbers, The numbers at the end of the lines: Environments numbers.

محیط مربوط به این است که یک محیط می‌تواند از سایر محیط‌های اجرای آزمایش نیز نمایندگی کند (۲۰). به منظور شناسایی محیط مطلوب در بای پلات، این محیط فرضی ترکیب مناسبی از هر دو ویژگی توان تمایز و توان نمایندگی را داراست و در واقع محیطی فرضی است که معمولاً وجود ندارد. با تعیین فاصله محیط‌های آزمایشی در بای پلات مربوطه از محیط مطلوب، امکان شناسایی محیط‌های برتر در آزمایش فراهم می‌شود. بر این اساس همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، دو محیط ۱ و ۲ که هر دو به منطقه گچساران مربوط می‌باشند، نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط مطلوب بود و بنابراین، مطلوب‌ترین محیط‌ها در آزمایش بودند.

توان تمایز و نمایندگی محیط‌ها: یک محیط مطلوب برای اجرای آزمایش‌های چند محیطی، باید ژنوتیپ‌ها را به خوبی از یکدیگر متمایز سازد و در عین حال به خوبی از محیط هدف نمایندگی کند. چنانچه محیط فاقد توان تمایز باشد، اطلاعات مناسبی از ژنوتیپ‌ها و تفاوت‌های آن‌ها به دست نمی‌دهد و همچنین اگر یک محیط به خوبی از محیط هدف نمایندگی نکند، نتایج حاصل از آن محیط نه تنها کاربردی نیستند، بلکه می‌توانند گمراه‌کننده نیز باشند (۱۹). در اینجا بایستی به دو مفهوم توانایی تمایز (discrimination) و نمایندگی (representativeness) محیط‌های اجرای آزمایش‌های چند محیطی اشاره نمود. توانایی تمایز یک محیط به توانایی آن برای نشان دادن بیشینه تنوع بین ژنوتیپ‌ها مربوط می‌شود، در حالی که توانایی نمایندگی یک



شکل ۴- بای پلات توان تمایز و نمایندگی محیط‌ها. مولفه اول: ۲۶/۵ درصد، مولفه دوم: ۲۰/۶ درصد. کد محیط‌های آزمایشی: E.

Figure 4- Biplot of ranking environments based on discriminating ability and representativeness.

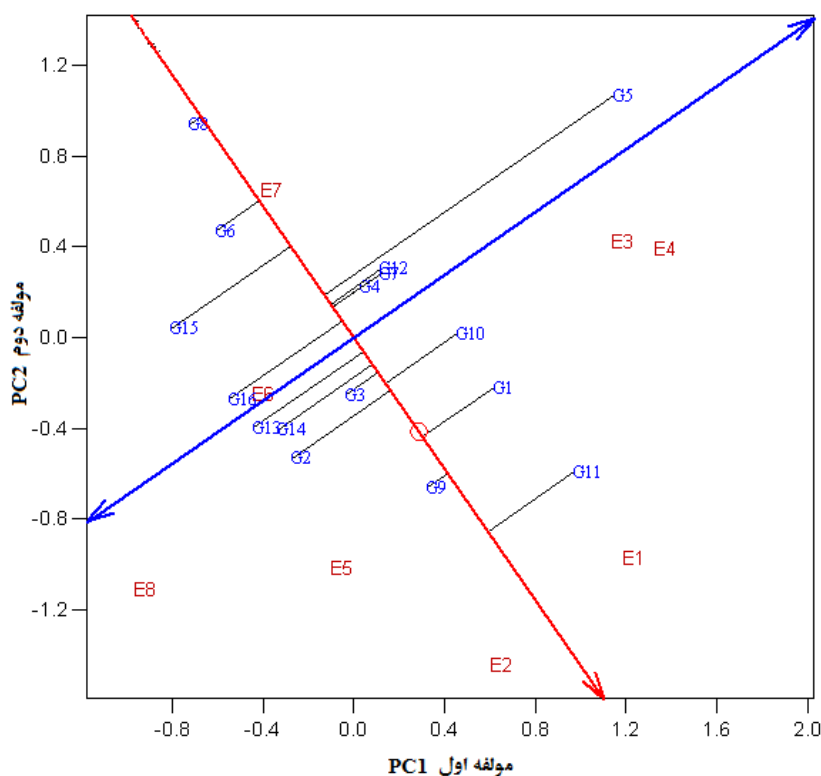
PC1: 26.5%, PC2: 20.6% . E: Environments,

ژنوتیپ و محیط را در مورد هر ژنوتیپ ارائه می‌دهد که معیار پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها است. پیکان یک طرفه نشان‌دهنده جهت افزایش عملکرد است و پیکان

رتبه‌بندی بر پایه عملکرد و پایداری: در شکل ۵ محور افقی با یک پیکان نشان‌دهنده اثر ژنوتیپ است و محور عمودی با دو پیکان، برآوردی از برهم‌کنش

همان‌گونه که نشان داده شده است، ژنوتیپ ۵ بیش‌ترین فاصله را از خط افقی داشت و هم‌زمان میانگین عملکرد پایینی نیز داشت. رقم‌های شاهد گچساران و سپهر (G15 و G16)، هم از نظر عملکرد و هم از نظر پایداری وضعیت مناسبی نداشتند. ژنوتیپ ۱۱ واجد عملکرد بالا بود و از نظر پایداری عملکرد در سطح متوسطی قرار داشت. ژنوتیپ ۹ افزون بر عملکرد بالا، پایداری بسیار خوبی نیز نشان داد. ژنوتیپ‌های ۱، ۱۰، ۱ و ۲ نیز در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

دو طرفه نشان‌دهنده این است که بردارهای طولانی‌تر در مورد هر ژنوتیپ و صرف‌نظر از جهت آن‌ها به معنای ناپایداری بیش‌تر هستند. شکل ۵ امکان‌پذیرترین هم‌زمان بر پایه عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. در این شکل محیط‌ها و ژنوتیپ‌هایی که در بخش پایینی محور افقی با دو بردار قرار دارند، میانگین عملکرد بالاتری دارند. بر این اساس محیط‌های ۱ و ۲ (گچساران) واجد بالاترین عملکرد هستند و محیط ۷ نیز کم‌ترین میانگین عملکرد را دارد. پایداری ژنوتیپ‌ها در این شکل به صورت فاصله آن‌ها از خط افقی نمایش داده شده است.



شکل ۵- بای پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری. مولفه اول: ۲۶/۵ درصد، مولفه دوم: ۲۰/۶ درصد. کد محیط‌های آزمایشی: E، شماره ژنوتیپ‌ها: G.

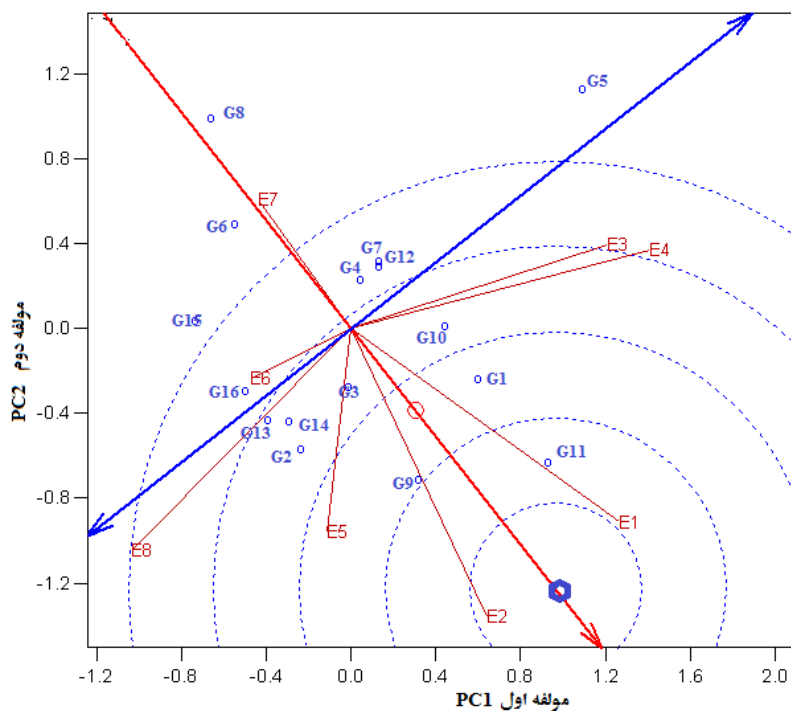
Figure 5- Biplot of ranking genotypes based on average yield and stability. PC1: 26.5%, PC2: 20.6%. E: Environments, G: Genotypes numbers

ژنوتیپ در مرکز دایره‌های هم مرکز در بای پلات قرار می‌گیرد و در شکل ۶ به صورت چند ضلعی بر محور تک پیکان مشخص شده است. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است، ژنوتیپ ایده‌آل واجد بیش‌ترین

مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل: ژنوتیپ ایده‌آل در بای پلات، ژنوتیپی فرضی است که می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری مورد استفاده قرار گیرد (۲۱). این

ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل بودند. نکته مهم در بای‌پلات ارائه شده در شکل ۶ این است که هر دو رقم شاهد استفاده شده در آزمایش (ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۶) از هر دو جنبه عملکرد و پایداری فاصله بسیار زیادی با ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و در کل آزمایش جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. این موضوع احتمالاً به گزینش دقیق ژنوتیپ‌ها طی آزمایش‌های سال‌های گذشته (ازمایش‌های ارزیابی ژرم‌پلاسما یکاردا، مقدماتی و پیشرفته) بر می‌گردد که طی آن‌ها با انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط تا حد قابل توجهی، محدود شده است. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی در روش GGE بای‌پلات، براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تعیین می‌شود و این ژنوتیپ افزون بر عملکرد بالا، باید سازگاری گسترده‌ای در مناطق هدف نیز داشته باشد (۲۳، ۲۴).

طول روی محور عملکرد (محور افقی با یک پیکان) و کم‌ترین فاصله با محور پایداری (محور افقی با دو بردار) می‌باشد و بنابراین، دارای بیشینه عملکرد و پایداری به‌طور هم‌زمان می‌باشد (۲۲). هر چقدر فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ فرضی، کم‌تر باشد، نشان‌دهنده مطلوبیت بیش‌تر آن‌ها است. ژنوتیپ ۱۱ نزدیک‌ترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل داشت. این ژنوتیپ در محور عملکرد، واجد بالاترین عملکرد بود و از نظر پایداری نیز در وضعیتی متوسط قرار داشت. ژنوتیپ ۹، از نظر عملکرد در رتبه دوم قرار داشت، ولی پایداری عملکرد بهتری از ژنوتیپ ۱۱ و سایر ژنوتیپ‌ها داشت و در واقع از نظر پایداری نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بود. ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱ نیز در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. با در نظر گرفتن هر دو فاکتور عملکرد و پایداری در مجموع این چهار ژنوتیپ، نزدیک‌ترین



شکل ۶- بای‌پلات مقایسه ژنوتیپ‌های آزمایشی با ژنوتیپ ایده‌آل. مولفه اول: ۲۶/۵ درصد، مولفه دوم: ۲۰/۶ درصد. کد

محیط‌های آزمایشی: E، شماره ژنوتیپ‌ها: G.

Figure 6- Biplot of comparing genotypes with ideal genotype. PC1: 26.5%, PC2: 20.6%. E: Environments, G: Genotypes numbers.

### نتیجه‌گیری کلی

آزمایش حاضر مشخص شدند که مربوط به دو سال اجرای آزمایش در هر یک از مناطق گچساران و خرم‌آباد بودند. همچنین، منطقه گچساران به‌عنوان محیط مطلوب جهت شناسایی تفاوت ژنوتیپ‌ها، شناخته شد. با در نظر گرفتن هر دو فاکتور عملکرد و پایداری عملکرد در محیط‌های گوناگون، ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱، ۱۰ و ۱ ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. این ژنوتیپ‌ها جهت اجرای آزمایش‌های ترویجی و در نهایت شناس‌های معرفی به عنوان رقم جدید در نظر گرفته شدند.

در پژوهش حاضر، برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، در مقایسه با اثر ساده ژنوتیپ تاثیر بیش‌تری در تفاوت‌های مشاهده شده در عملکرد ژنوتیپ‌ها داشت که با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های این آزمایش فرایند چندساله‌گزینش را پیش از این طی نمودند، این موضوع قابل توجه می‌باشد. تجزیه به مولفه‌ها در مدل GGE بای‌پلات نشان داد که ۴۷/۱ درصد از تنوع مشاهده شده، توسط دو مولفه نخست توجه می‌شوند. با استفاده از مدل GGE بای‌پلات دو ابر محیط در

### منابع

- Gurmu, F., Lire, E.A., Asfaw, A., Alemayehu, F., Rezene, Y. and Ambachew, D. 2012. GGE- biplot analysis of grain yield of faba bean genotypes in Southern Ethiopia. Electron J. Plant Breed. 3: 3. 898-907.
- Moreno-Gonzalez, J., Crossa J. and Cornelius, P.L. 2004. Genotype × environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica. 137: 119-127.
- Mofidian, S.M.A. and Mogadam, A. 2013. Analysis of ecotype × location interaction in cold-region alfalfa ecotypes. Ir. J. Crop Sci. 15: 2. 181-195.
- Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali. M. 2021. Analysis of yield stability of lentil genotypes using AMMI method. J Crop Breed. 13:37. 132-145. (In Persian)
- Yan, W., Cornelius.,P.L., Crossa. J. and Hunt, L.A. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. Crop Sci. 41: 656-663.
- Yan, W., Fregeau-Reid, J.A., Pageau, D.R.A., Mitchell Fetch, J.W., Etienne, M., Rowsell, J., Scott, P., Price, M., De Haan., B., Cummiskey., A., Lajeunesse, J., Durand, J. and Sparry, E. 2010. Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. Crop Sci. 50: 504-515.
- 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: 540-555.
- 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: 643-655.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H. 2008. Graphic analysis of genotype and environment interaction for lentil (*Lens culinaris* Medik) yield in Iran. Agron J. 100: 760-764. (In Persian)
- Laffont, J.L., Hanafi. M. and Wright. K. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. Crop Sci. 47: 990-996.
- Barati, A., Lakzadeh, I., Jabbari, M., Poodineh, O., Jafarby, J., Shahbazihomonlo, K., Gholipour, A. and Tabatabaei Fard, N.A. 2020. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in warm regions of Iran using GGE biplot analysis. Ir. J. Crop Sci. 22: 212-224. (In Persian)
- Pourdard, S. and Jamshidi Moghaddam, M. 2013. Study on genotype and environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. J. Crop Breed. 5: 12. 12-23.

13. Donoso-Nanculao, G., Paredes, M., Becerra, V., Arrepol, C. and Balzarini, C. 2018. GGE- Biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. *Chil J Agric Res.* 76: 2. 152-157
14. Mohammadi, R., Armion, M., Zadhasan, E. and Eskandari, M. 2014. Analysis of genotype and environment interaction for grain yield in rain-fed durum wheat. *J. Dryland Agric Ir.* 1: 4. 23-32. (In Persian)
15. Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghojogh, H., Shahbazi, K. and Sharifi, P. 2018. Use of parametric and non-parametric methods for genotype  $\times$  environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genet Res.* 4: 2. 75-88.
16. Yan, W. and Tinker, N.A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can J. Plant Sci.* 86: 623-645.
17. Farayedi, Y., Asadi, A., Ahakpaz, F., Saeed, F., Kanoni, H. and Ehsan nosrati, A. 2020. Evaluation of genotype-environment interaction for grain yield of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in cold agro-climate zone of Iran by GGE biplot method. *J Crop Breed.* 12 : 36. 66-76. (In Persian)
18. Farshadfar, E. 2013. Simultaneous selection of yield and yield stability in chickpea genotypes using the GGE biplot technique. *Acta Biol Hung.* 61: 185-194.
19. Mohamed, N.E. and Ahmed. A.A. 2013. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Afr J. Agric Res.* 8: 5197-5203.
20. Blanche, S.B. and Myers, G.O. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Sci.* 46: 946-949.
21. Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE- biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
22. Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A. and Aghajani, M.A. 2021. Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *J Crop Prod Process (JCPP).* 11: 3. 85-99. (In Persian)
23. Amira, J.O., Ojo, D.K., Ariyo, O.J., Oduwaye, O.A. and Ayo-Vaughan, M.A. 2013. Relative discriminating powers of GGE and AMMI models in the selection of tropical soybean genotypes. *Afr Crop Sci. J.* 21: 1- 67-73.
24. Bhartiya, A., Aditya, J.P., Singh, K., Purwar, J.P. and Agarwal. A. 2017. AMMI & GGE biplot analysis of multi environment yield trial of soybean in North Western Himalayan state Uttarhand of India. *Legume Res.* 40: 2. 306-312.