

## Graphic analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction of seed yield trait in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under dryland conditions

S. Abyar<sup>1</sup>, S. Navabpour<sup>2\*</sup>, R.A Karimizadeh<sup>3</sup>, A. Gholizadeh<sup>4</sup>, A.A. Nasrollahnejad Ghomi<sup>5</sup>, Gh. Kiani<sup>6</sup>

1. PhD Student, Plant Breeding and Biotechnology Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2. Associate Professor, Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. 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
4. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
5. Assistant Professor, Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
6. Department of Biotechnology and Plant Breeding, College of Agricultural Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

Received 9 July 2021; Accepted 12 September 2021

### Extended abstract

#### Introduction

Wheat bread is one of the most important food products in the world. In terms of area under cultivation and production it ranks second among different products. Therefore, Genetic advances in sustainable wheat production can play a large role in global food security. The average wheat production in the world is reported Nearly 3.425 and its average production in Iran is 2.164 tons per hectare. Given the importance of wheat, Production of this product should be increased by cultivating modified genotypes with high grain yield. Wheat grain yield is affected by environmental conditions, genetic potential and its interaction. Identifying genotypes that have good performance and stability in different environmental conditions seems to be complex due to the strong interaction of genotype and environment. The change that occurs in the relative performance of genotypes in different environments is called genotype × environment interaction.

Genotype × environment interaction is one of the most important issues in plant breeding which is of great importance in introducing and releasing modified varieties. Cultivation of genotypes in test environments during different years and places it has determined the stability of performance. And genotypes with less genotype × environment interaction are selected. Usually in breeding programs, Genotypes are known as compatible that the variance of their interaction with the environment is small. Among the multivariate methods, GGE biplot method is one of the most important methods for investigating the interaction of genotype × environment and determining stable genotypes.

\* Corresponding author: Saeid Navabpour; E-Mail: [s.navabpour@yahoo.com](mailto:s.navabpour@yahoo.com)



Water scarcity is the most essential limiting element of agricultural production, particularly in arid and semi-arid areas throughout the world. Evaluation of the bread wheat genotypes under different environmental conditions would be useful to identify stable and high yield potential genotypes.

### **Materials and methods**

15 new bread wheat lines along with Aftab cultivar were evaluated in a randomized complete block design with three replications in four experimental field stations (Gachsaran Khoramabad, Moghan and Gonbad) during three crop seasons (2017-2020). GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype  $\times$  environment interaction) was used to study stability of genotypes in the studied environments.

### **Results and discussion**

Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes and genotype  $\times$  environment interaction were significant. The results indicated that 91.49, 1.54 and 5.03 percent of total variation were related to the environment, genotype and genotype  $\times$  environment interaction effects, respectively. The polygon-view of GGE biplot recognized five superior genotypes and four mega-environments so that the best genotypes within each environment were determined. Based on the hypothetical ideal genotype biplot, the line G7 with 3818 Kg ha<sup>-1</sup> grain yield was the better genotype than other genotypes. Also this genotype showed the most stability and had the high general adaptation to all environments. Biplot of correlation among environments revealed that environmental vectors of Gachsaran and Gonbad were near to 90° so, these locations were different environments. The results showed that all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes.

### **Conclusion**

Generally, the results indicated that the line G7 with suitable mean seed yield and high broad adaptability was selected as superior line for further investigation to introduce the new commercial wheat cultivar under dryland conditions. Also, the Moghan environment was the nearest environment to ideal environment that had the highest discriminating ability and representativeness.

**Keywords:** Bread wheat, Dryland cultivations, Ideal genotype, Polygon, Seed yield, Stability

## تجزیه گرافیکی ژنوتیپ، محیط و برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای صفت عملکرد دانه گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم

سیما آبیاری<sup>۱</sup>، سعید نواب پور<sup>۲\*</sup>، رحمت الله کریمی زاده<sup>۳</sup>، امیر قلی زاده<sup>۴</sup>، علی اصغر نصرالله نژادقمی<sup>۵</sup>، غفار کیانی<sup>۶</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۳. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی مناطق خشک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران
۴. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان
۵. استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۶. دانشیار، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط محیطی مختلف می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید است. در این راستا تعداد ۱۵ لاین جدید گندم نان به همراه رقم آفتاب در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گچساران، خرم‌آباد، مغان و گنبد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از روش آماری GGE بای پلات با مدل اثر ژنوتیپ + برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی استفاده شد. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، اثر ژنوتیپ و برهم کنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که به ترتیب ۹۱/۴۹، ۱/۵۴ و ۵/۰۳ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، اثر ژنوتیپ و برهم کنش ژنوتیپ × محیط بود. بررسی بای پلات چندضلعی منجر به شناسایی پنج ژنوتیپ برتر و شناسایی چهار محیط بزرگ و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ گردید. بر اساس بای پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، لاین G7 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه (۳۸۱۲ کیلوگرم در هکتار)، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی نشان داد. بررسی بای پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان داد که بردارهای محیطی مناطق گچساران و گنبد دارای زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بود که نشان‌دهنده عدم تشابه این دو منطقه است. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط مغان نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد. در مجموع، لاین G7 با میانگین عملکرد دانه مطلوب و پایداری عمومی بالا، لاین برتر این آزمایش بود که برای مطالعات تکمیلی جهت معرفی به‌عنوان رقم تجاری جدید در شرایط دیم انتخاب شد.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۰۴/۱۸	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۰/۰۶/۲۱	
تاریخ انتشار:	
بهار ۱۴۰۲	
۱۶۸-۱۵۵ (۱): ۱۶۸	

### مقدمه

زراعی دارا می‌باشد (FAOSTAT, 2018) بنابراین پیشرفت- های ژنتیکی در تولید پایدار گندم می‌تواند تا حد زیادی در امنیت غذایی جهان نقش داشته باشد (Zhu et al., 2019).

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در سرتاسر جهان است که از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید، رتبه دوم را در بین گیاهان مختلف

علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را آسان می‌کند (Allahgholipour, 2016). این روش برخلاف سایر روش‌ها، به طور هم‌زمان اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را مورد استفاده قرار می‌دهد. در تحقیقات گوناگون گزارش شده است که در بیشتر آزمایش‌های چندمحیطی اثر اصلی محیط زیاد است، درحالی‌که تغییرات توجیه شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر هستند، اندک است. از آنجایی که محیط یک عمل غیرقابل کنترل است، از این رو در روش GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بکار گرفته می‌شود تا بتوان نتایج قابل‌اعتمادی را به دست آورد (Yan et al., 2000). در روش گرافیکی GGE بای‌پلات، علاوه بر تعیین ژنوتیپ‌های پایدار، امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی وجود دارد (Yan et al., 2001). از روش GGE بای‌پلات در پنبه (Blanche and Myers, 2006)، عدس (Sabaghnia et al., 2008)، سورگوم (Rakshit et al., 2012)، گلرنگ (Jamshidmoghaddam and Pourdad, 2013)، فستوکا (Dehghani et al., 2015)، ذرت (Netshifhefhe et al., 2018)، چغندر قند (Hassani et al., 2018)، سویا (Dallo et al., 2019)، گندم نان (Gerrish et al., 2019)، جو (Vaezi et al., 2019)، آفتاب‌گردان (Ansarifard et al., 2020) و کلزا (Amiri Oghan et al., 2020) برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در آزمایش‌های چندمحیطی استفاده شده است. هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های جدید، محیط‌ها، روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا در گندم نان بود.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۵ لاین جدید گندم نان به همراه رقم آفتاب در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گچساران، خرم‌آباد، مغان، گنبد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۶-۹۹) ارزیابی شدند. نام و مبدأ ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ بیان شده است.

میانگین تولید گندم در دنیا نزدیک ۳/۴۲۵ و میانگین تولید آن در ایران ۲/۱۶۴ تن در هکتار گزارش شده است (FAOSTAT, 2018). باتوجه به اهمیت گندم، تولید این محصول با کشت ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده با عملکرد دانه بالا باید افزایش پیدا کند. عملکرد دانه گندم تحت‌تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم‌کنش آن‌ها قرار می‌گیرد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد و تولید محصولات در سراسر جهان به شمار می‌رود (Shiri and Bahrapour, 2015). قسمت عمده کشور ایران نیز جز مناطق خشک و نیمه‌خشک است. یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، تولید و دستیابی به ژنوتیپ‌هایی است که پایداری و ثبات عملکرد مطلوبی داشته باشند. شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محیطی مختلف دارای عملکرد مطلوب و پایداری باشند، به دلیل برهم‌کنش شدید ژنوتیپ × محیط، امر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد (Najafi Mirak et al., 2019). به تغییری که در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پدید می‌آید، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط می‌گویند. برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در معرفی و آزادسازی وارته‌های اصلاح‌شده حائز اهمیت فراوان است. کشت ژنوتیپ‌ها در اقلیم‌های مورد آزمایش طی سال‌ها و مکان‌های مختلف به‌عنوان نمونه‌ای از محیط‌ها، موجب تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط کمتر گزینش می‌شوند (Alizadeh et al., 2020). در برنامه‌های به‌نژادی به طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس برهم‌کنش متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Eberhart and Russell, 1996).

روش‌های مختلفی برای مطالعه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بکار برده شده است که شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره، ناپارامتری و چندمتغیره هستند. در این میان، روش‌های آماری چندمتغیره، اطلاعات جامع‌تر و بیشتری را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران گیاهی قرار می‌دهند (Zobel et al., 1988; Moreno-Gonzalez et al., 2004; Gauch, 2006; Mahdavi et al., 2020). از میان روش‌های چندمتغیره، روش GGE بای‌پلات یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار است. روش GGE بای‌پلات با استفاده از روش‌های چندمتغیره و رسم نمودارهای دوبعدی،

جدول ۱. شماره و نام ژنوتیپ‌های گندم نان مورد بررسی

Table 1. Genotypic number and name of the tested bread wheat genotypes

No	Name/pedigree	نام/شجره
G1	AFTAB	
G2	TACUPETO F2001*2/BRAMBLING// KIRITATI/ 2*TRCHCMSS08Y00140S-099Y-099M-099NJ-29WGY-0B	
G3	LERKE/5/KAUZ/3/MYNA/VUL//BUC/FLK/4/MILAN/6/PROGRESO F2007/7/KIRITATI/4/ 2*SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ CMSS08B00400S-099M-099Y-25M-0WGY	
G4	92.001E7.32.5/SLVS/4/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1CMSA08M00321S-040M-0NJ-14Y-0B	
G5	QUAIU #1CGSS01B00046T-099Y-099M-099M-099Y-099M-29Y-0B-12B-0Y	
G6	BECARD/PFUNYE #1CMSS09Y00374S-099Y-099M-099Y-10WGY-0B	
G7	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1PTSS09GHB00029S-0SHB-099Y-11Y-020Y-0MXI	
G8	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SRMA/TUIPTSA08M00045S-050ZTM-050Y-28ZTM-010Y-0B	
G9	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/MEX94.2.19//SOKOLL/WBLL1PTSA08M00050S-050ZTM-050Y-56ZTM-010Y-0B	
G10	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/ 4/WEAVER /5/2*KAUZ/7/2*PRL/ 2*PASTOR/PBW343*2/ KUKUNACMSS09Y01016T-099TOPM-099Y-099M-099Y-21WGY-0B	
G11	KACHU/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNACMSS09B00277S-099ZTM-099NJ-099NJ-19WGY-0B	
G12	BAJ #1/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS 10Y00030S-099Y-099M-11WGY-0B	
G13	KACHU/SAUAL/8/ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ ATTILA/2*PASTORCMSS10Y00374S-099Y-099M-1WGY-0B	
G14	KACHU/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS10Y00375S-099Y-099M-6WGY-0B	
G15	ROLF07/3/TRCH/SRTU//KACHU/4/SAUAL/MUTUSCMSS10Y00986T-099TOPM-099Y-099M-7WGY-0B	
G16	MUTUS//ND643/2*WBLL1CMSS08Y00224S-099Y-099M-099Y-7M-0RGY	

جدول ۲. خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 2. Agro-climatic characteristics of the environments studied in this research

مکان	سال	کد محیط‌ها	طول	عرض	ارتفاع از سطح	بارندگی	
Location	Year	Environmental code	جغرافیایی Longitude	جغرافیایی Latitude	دریا Altitude (m)	Rainfall (mm)	
گچساران Gachsaran	2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	E1				
	2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	E2	E50 <sup>o</sup> 50 <sup>o</sup>	N30 <sup>o</sup> 17 <sup>o</sup>	710	445
	2019-2020	۱۳۹۸-۹۹	E3				
خرم‌آباد Khoram Abad	2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	E4				
	2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	E5	E48 <sup>o</sup> 28 <sup>o</sup>	N33 <sup>o</sup> 39 <sup>o</sup>	1125	520
	2019-2020	۱۳۹۸-۹۹	E6				
گنبد Gonbad	2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	E7				
	2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	E8	E55 <sup>o</sup> 12 <sup>o</sup>	N37 <sup>o</sup> 16 <sup>o</sup>	45	550
	2019-2020	۱۳۹۸-۹۹	E9				
مغان Moghan	2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	E10				
	2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	E11	E47 <sup>o</sup> 88 <sup>o</sup>	N39 <sup>o</sup> 39 <sup>o</sup>	100	312
	2019-2020	۱۳۹۸-۹۹	E12				

اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۷ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی بر اساس تراکم ۳۰۰ دانه در مترمربع که باتوجه به وزن هزار دانه برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. در طول فصل

مشخصات فنی و زراعی دوازده آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خردکردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و بر

درون هر قسمت (محیط کلان)، ژنوتیپ‌هایی که در رأس چندضلعی و درون هر قسمت قرار گرفتند، سازگاری خصوصی بلایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت داشتند (Yan et al., 2000).

### انتخاب هم‌زمان برای عملکرد و پایداری

در این پژوهش از نمودار مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate; AEC) به منظور بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده گردید. این نمودار دارای دو محور افقی و عمودی است. ژنوتیپ‌ها در طول محور افقی AEC (محوری که با دایره و فلش مشخص شده است) بر اساس عملکرد رتبه‌بندی شدند و جهت پیکان نشان‌دهنده میانگین عملکرد بالاتر بود. همچنین محور افقی AEC نشان‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک بود، از پایداری بالاتری برخوردار بود (Yan et al., 2000). ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور عمودی AEC قرار گرفتند، دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این محور قرار گرفتند، عملکردی کمتر از میانگین عملکرد کل را دارا بودند.

### مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل

ژنوتیپ ایده‌آل فرضی واجد حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و از نظر مکانی به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها قرار گرفته و دارای بیشترین عملکرد و پایداری است (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشت، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار محسوب گردید.

### همبستگی بین محیط‌ها

از روش GGE بای‌پلات به منظور بررسی رابطه بین محیط‌های مورد مطالعه استفاده شد. محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ بای‌پلات وصل شدند. در نمودار بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. هراندازه زاویه بین دو بردار محیط کوچک (کمتر از ۹۰ درجه) باشد به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها است. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۱۸۰ درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها -۱ و اگر ۹۰ درجه باشد همبستگی صفر خواهد بود (Yan and Kang, 2003).

رشد یادداشت‌برداری از خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی به عمل آمد. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف گردید. در ادامه تمام بوته‌های کرت برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب انجام شد. باتوجه به معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (Yan and Kang, 2003) انجام گردید. به منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک ماتریس دوطرفه تنظیم و به نرم‌افزار GGE بای‌پلات معرفی گردید. رسم نمودارهای بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش بر اساس رابطه زیر است.

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + e_{ij} \quad [1]$$

در رابطه فوق  $y_{ij}$ ، ارزش میانگین ژنوتیپ  $i$ ام برای محیط  $j$ ام،  $\mu$ ، میانگین کل ژنوتیپ‌ها،  $\beta_j$ ، اثر اصلی محیط  $j$ ام،  $g_{i1}$  و  $g_{i2}$  به ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ  $i$ ام و محیط  $j$ ام،  $e_{1j}$  و  $e_{2j}$  به ترتیب مقادیر ثانویه برای ژنوتیپ  $i$ ام و محیط  $j$ ام،  $e_{ij}$  باقی‌مانده‌ای است که به وسیله آثار اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. در واقع یک بای‌پلات GGE از طریق رسم  $g_{i1}$  در مقابل  $g_{i2}$  و  $e_{1j}$  در مقابل  $e_{2j}$  یک نمودار پراکنش ایجاد می‌کند. از نرم‌افزار GGE بای‌پلات برای موارد زیر استفاده شد:

### گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها

یکی از موارد استفاده از روش GGE بای‌پلات در این مطالعه، رسم نمودار چندضلعی (Polygon) بود. برای رسم این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که از مبدأ مختصات نمودار بای‌پلات دور بودند، در رأس چندضلعی و ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار گرفتند و سپس خط‌هایی از مبدأ نمودار بای‌پلات و عمود بر هر طرف چندضلعی رسم گردید. این خط‌ها نمودار بای‌پلات را به چند قسمت تقسیم کردند. در

### مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل

محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل فرضی رتبه‌بندی شدند. محیط ایده‌آل فرضی، محیطی است که دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد (Yan and Kang, 2003). محیط‌هایی که زاویه کوچک‌تری با محیط ایده‌آل فرضی داشتند، به‌عنوان محیط‌های ایده‌آل معرفی گردیدند.

### نتایج و بحث

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای هر محیط به طور جداگانه انجام

گرفت و نتایج نشان داد که باقی‌مانده داده‌های هر محیط از توزیع نرمال برخوردار است (جدول ۳). قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت نیز به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد (مقدر آماره کای‌مربع برابر با ۱۶/۵۴ و غیر معنی‌دار) و نتایج حاکی از این بود که واریانس محیط‌های مختلف یکسان بوده و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۳. مقادیر P-value برای آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای نرمال بودن خطاهای آزمایشی در گندم نان

Table 3. P-value values for Kolmogorov-Smirnov test for normality of experimental errors in bread wheat

Location	مکان	Test statistic آزمونی آماری		
		2017-2018	2018-2019	2019-2020
Gachsaran	گچساران	0.06 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.07
Gonbad	گنبد	0.07 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.06
Khoram Abad	خرم‌آباد	0.07 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.08
Moghan	مغان	0.06 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.05

ns: نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی

ns: Indicating normality of experimental errors distribution

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در محیط‌های مختلف

Table 4. Combined analysis of variance for seed yield of bread wheat genotypes in different environments

Source of variations	منابع تغییر	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of squares	واریانس توجیه شده TSS (%)
Environment (E)	محیط	11	118288757**	1301176327	91.49
Block (E)	بلوک (محیط)	24	245271**	5886503	
Genotype (G)	ژنوتیپ	15	953203**	14298049	1.54
G * E	ژنوتیپ*محیط	165	433647**	71551824	5.03
Error	خطا	360	81087		
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)		8.09		

\*\* Significant at 0.01 probability level.

معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

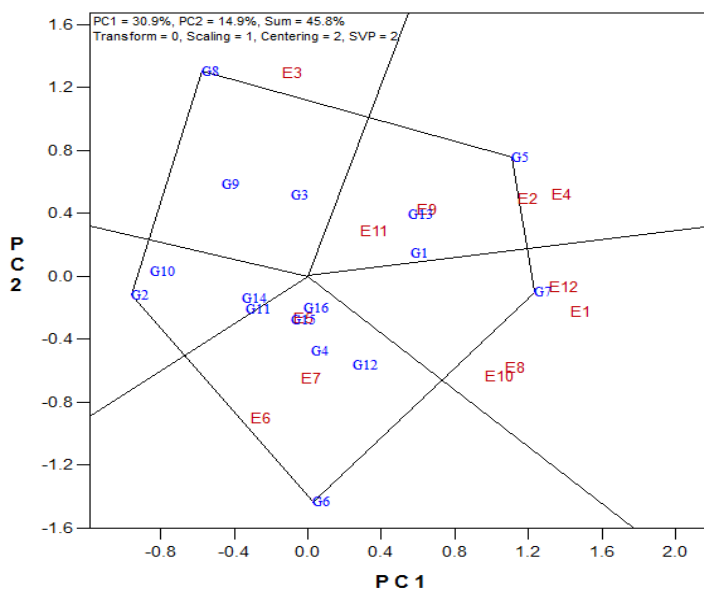
درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴). با توجه به اینکه محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک) را دارا بوده، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. اسماعیل‌زاده مقدم و

محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به‌وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده (۹۱/۴۹ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱/۵۴ و ۵/۰۳

همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت‌دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Falconer, 1981; Jafari and Farshadfar, 2018).

نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۳۰/۹ و ۱۴/۹ و در مجموع ۴۵/۸ درصد از تغییرات مربوط به ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند (شکل ۱).

همکاران (Esmailzadeh Moghaddam et al., 2018) نیز در گندم نان ۸۰/۹ درصد تغییرات را به اثر محیط نسبت دادند. همچنین سایر محققان در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولات دیگر از قبیل گلرنگ (Jamshidmoghadam and Pourdad, 2013)، ذرت (Shiri and Bahrapour, 2015)، آفتاب‌گردان (Jockovic et al., 2016)، یولاف (Safavi and Bahraminejad, 2017) و جو (Vaezi et al., 2017) نشان دادند که اثر محیط درصد قابل‌توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داده است. اثر معنی‌دار ژنوتیپ نیز بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. کم بودن اثر ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل است که در برنامه‌های اصلاحی گندم نان در سال‌های گذشته ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شدند و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایش‌های چند محیطی نسبت به محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشتند.



شکل ۱. نمایش چندضلعی بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در گندم نان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم. برای یافتن نام ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جداول شماره ۱ و ۲ مراجعه شود.

Fig. 1. Biplot polygon view for grouping the genotypes and environments in bread wheat; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component. Referee to Tables 1 and 2 for genotypes and environments name

شدند (شکل ۱). همچنین در این مطالعه چهار محیط کلان مشخص گردید که محیط کلان اول شامل محیط گچساران سال سوم (E3) بود که ژنوتیپ G8 ژنوتیپ برتر این محیط بود. محیط کلان دوم شامل چهار محیط گچساران سال دوم

نمودار چندضلعی بای‌پلات برای ژنوتیپ‌های گندم نان نشان داد که پنج ژنوتیپ G2، G8، G5، G7 و G6 که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و در رأس‌های چندضلعی قرار گرفته‌اند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی



ژنوتیپ‌های G2, G10, G8 و G9 به ترتیب با قرار گرفتن در انتهای محور افقی AEC کمترین مقدار عملکرد دانه را دارا بودند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های G7 و G1 که با فاصله کمتری از محور افقی AEC قرار گرفته‌اند، دارای پایداری بالایی بودند که میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود. ژنوتیپ G5 با وجود اینکه دارای عملکرد دانه بالایی بود ولی به دلیل داشتن فاصله بیشتر از محور افقی AEC از پایداری کمتری برخوردار بود (شکل ۲). در کل با توجه به نمودار مختصات محیط متوسط AEC، ژنوتیپ‌های G7 و G1 به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه و پایداری بالا معرفی می‌شوند. از نمودار مختصات محیط متوسط AEC به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در ذرت (Setimela et al., 2007)، نخود (Segherloo et al., 2010) و گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) نیز استفاده شده است.

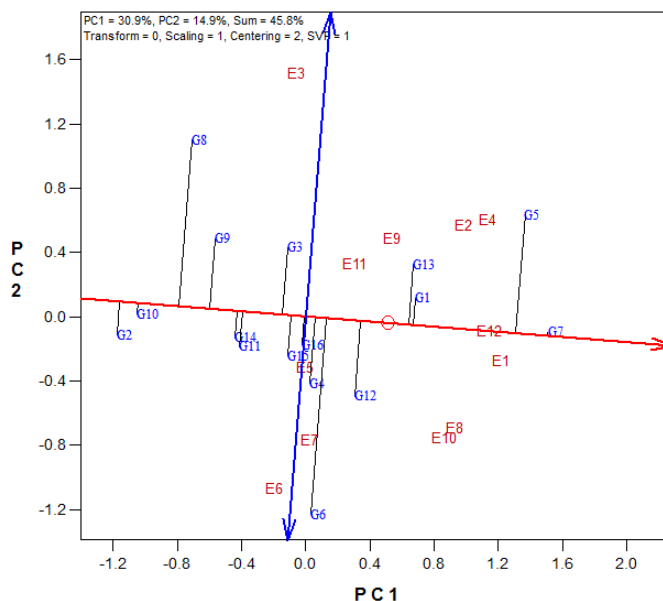
کاربرد دیگر روش GGE بای‌پلات، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل است (شکل ۳). با توجه به شکل ۳، ژنوتیپ G7 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارد و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ در این مطالعه شناسایی شد. مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای محصولات زراعی مختلف مثل ذرت دانه‌ای (Shiri and Bahrapour, 2015)، ارزن (Saleem et al., 2016) و گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) گزارش شده است.

بررسی همبستگی بین محیط‌ها نیز نشان داد (شکل ۴) که زاویه بین بردارهای محیطی مناطق مغان و گچساران و مناطق خرم‌آباد و گچساران کوچک بوده که این نتایج تشابه این مناطق را نشان می‌دهد. همچنین زاویه بین بردارهای مناطق گنبد و خرم‌آباد بالاتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر همبستگی منفی بین این دو منطقه بود.

بررسی بای‌پلات همبستگی بین مناطق نیز نشان داد که بردارهای محیطی مناطق گچساران و گنبد دارای زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بود که نشان‌دهنده عدم تشابه این دو منطقه است. مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل نیز نشان داد که محیط مغان نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل فرضی بود (شکل ۵) و به دلیل داشتن طول بردار بلند که بیانگر توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر است، به‌عنوان محیط مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم نان معرفی می‌شود.

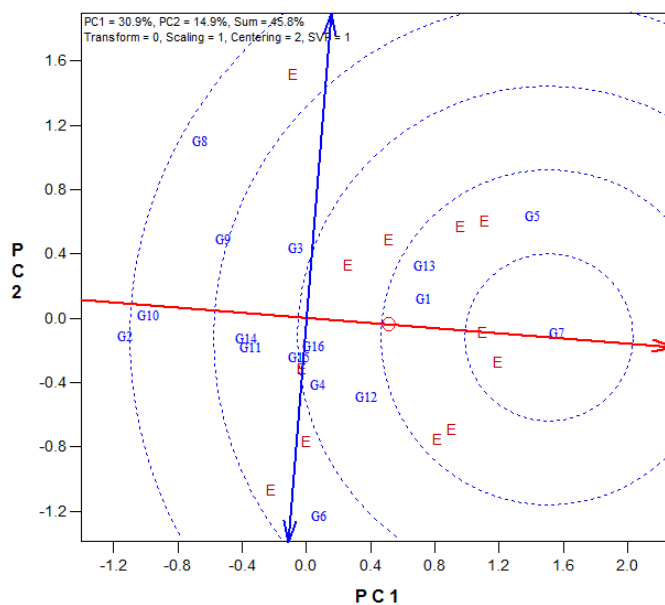
(E2)، خرم‌آباد سال اول (E4)، گنبد سال سوم (E9) و مغان سال دوم (E11) بود که ژنوتیپ G5 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. محیط کلان سوم نیز شامل چهار محیط گچساران سال اول (E1)، گنبد سال دوم (E8)، مغان سال اول (E10) و مغان سال سوم (E12) بود که ژنوتیپ G7 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. سه محیط خرم‌آباد سال دوم (E5)، خرم‌آباد سال سوم (E6) و گنبد سال اول (E7)، محیط کلان چهارم را تشکیل دادند که ژنوتیپ G6 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. ژنوتیپ G2 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بود، در هیچ‌کدام از محیط‌های کلان قرار نگرفت که بیانگر عدم تولید عملکرد دانه بالای این ژنوتیپ در کلیه محیط‌ها بود (شکل ۱). از نمودار چندضلعی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و نیز مشخص نمودن محیط‌های کلان توسط سایر محققان نیز استفاده شده است (Sabaghnia et al., 2008; Choukan, 2011; Changizi et al., 2014; Temesgen et al., 2015). کریمی زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2020) نیز از نمودار چندضلعی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در گندم دوروم استفاده کردند. محیط‌هایی که در یک محیط کلان قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک محیط کلان قرار می‌گیرند. در مقابل محیط‌هایی که در محیط‌های کلان متفاوت قرار می‌گیرند دارای برهم‌کنش متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم هستند (Yan and Kang, 2003). با توجه به نتایج گروه‌بندی محیط‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع برهم‌کنش (متقاطع و غیرمتقاطع) در آزمایش‌های چندمحیطی گندم نان وجود دارد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی که برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت؛ اما اگر برهم‌کنش از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را به طور هم‌زمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت. در پژوهش اسماعیل‌زاده مقدم و همکاران (Esmaeilzadeh Moghaddam et al., 2018) نیز هر دو نوع برهم‌کنش در گندم نان گزارش گردیده است.

نتایج بای‌پلات مختصات محیط برای انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری نشان داد که ژنوتیپ‌های G1, G5, G7, G12 و G13 به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند و



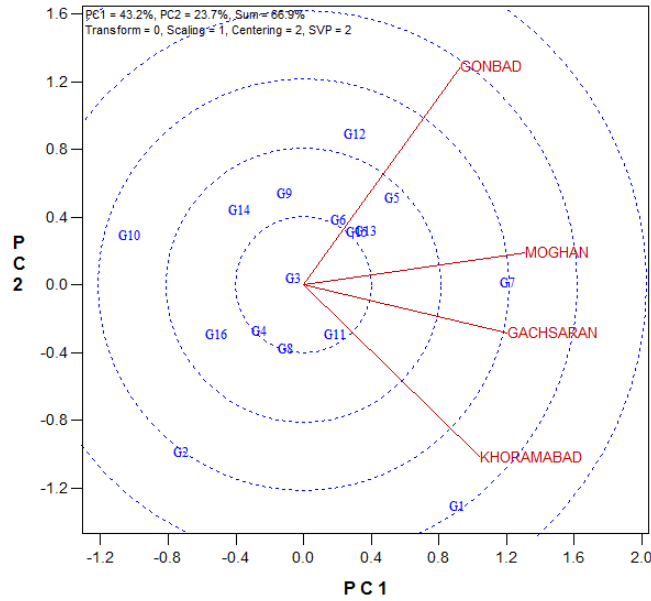
شکل ۲. نمایش بای پلات برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ‌های گندم نان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم. برای یافتن نام ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جداول شماره ۱ و ۲ مراجعه شود.

Fig. 2. Biplot view for simultaneous selection of yield and stability in the bread wheat; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component genotypes. Referee to Tables 1 and 2 for genotypes and environments name



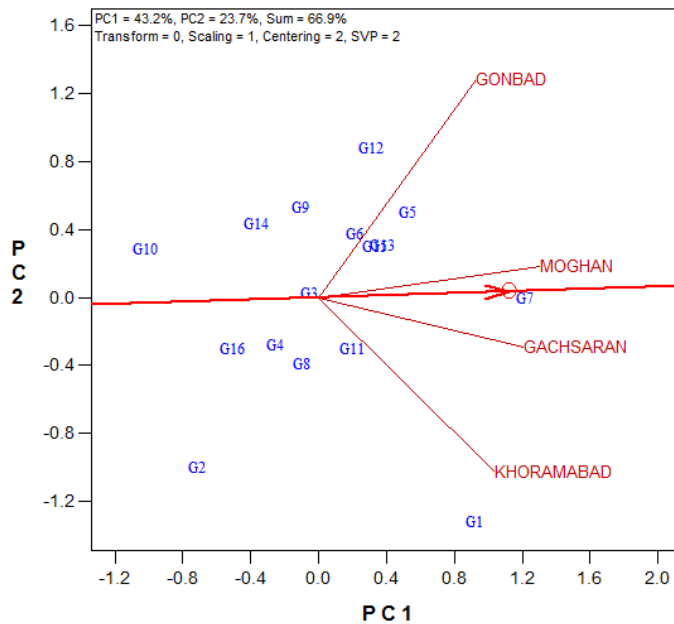
شکل ۳. نمایش بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در گندم نان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم. برای یافتن نام ژنوتیپ‌ها به جدول شماره ۱ مراجعه شود.

Fig. 3. Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype in bread wheat; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component. Referee to Table 1 for genotypes name



شکل ۴. نمایش بای پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه در گندم نان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم برای یافتن نام محیط‌ها به جدول شماره ۲ مراجعه شود.

Fig. 4. Biplot view for displaying the relationships among the studied environments in bread wheat; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component. Referee to Table 2 for environments name



شکل ۵. نمایش بای پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده آل در گندم نان؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم. برای یافتن نام محیط‌ها به جدول شماره ۲ مراجعه شود.

Fig. 5. Biplot view to compare the studied environments with the ideal environment in bread wheat; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component. Referee to Table 2 for environments name.

## نتیجه‌گیری نهایی

برای تجزیه پایداری است. بر اساس نتایج این پژوهش، لاین G7 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشت. بررسی بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان داد که بردارهای محیطی مناطق گچساران و گنبد دارای زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بود که نشان‌دهنده عدم تشابه این دو منطقه است. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط مغان نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد. در مجموع، لاین G7 با میانگین عملکرد دانه مطلوب و پایداری عمومی بالا، لاین برتر این آزمایش بود که برای مطالعات تکمیلی جهت معرفی به‌عنوان رقم تجاری جدید انتخاب شد.

باتوجه به تغییر اقلیم، افزایش جمعیت، کمبود منابع آبی و کاهش سطوح قابل کشت، بی‌شک عرصه کشاورزی در حال حاضر کشور نیازمند تکنولوژی‌های به‌روز تحقیقاتی در حوزه معرفی ارقام جدید گندم نان دیم است، در مناطق خشک و نیمه‌خشک دستیابی به ارقامی از گندم که تحت شرایط محدودیت آب و کم‌آبایی تحمل بیشتری نشان داده و کاهش عملکرد کمتری داشته باشند بسیار مهم است. با نگرش به ماهیت پیچیده و چندبعدی برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط و به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان، در این آزمایش از روش چندمتغیره GGE biplot استفاده شد. GGE بای‌پلات با بهره‌گیری از روش‌های چندمتغیره و رسم نمودارهای دوبعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، کار تفسیر نتایج را آسان می‌کند؛ از این رو یک روش کارآمد

## منابع

- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G.H., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R., Gholizadeh, A., 2020. Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-Parametric methods. *Journal of Crop Breeding*. 12, 202-212.
- Allahgholipour, M., 2016. Genotype  $\times$  environment interaction effect in rice genotypes using GGE Biplot. *Cereal Research*. 6, 1-14. [In Persian with English summary].
- Amiri Oghan, H., Rameeh, V., Faraji, A., Fanaei, H.R., Kazerani, N.K., Rahmanpour, S., 2020. Evaluation of seed yield stability of spring rapeseed genotypes using GGE biplot analysis. *Seed and Plant Improvement Journal*. 36, 207-222. [In Persian with English summary].
- Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Bihamta, M.R., Ramshini, H., 2020. A study on genotype-environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science and Nutrition*. 8, 3327-3334.
- Blanche, S.B., Myers, G.O., 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*. 46, 946-949.
- Changizi, M., Choukan, R., Heravan, E.M., Bihamta, M.R., Darvish, F., 2014. Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. *Canadian Journal of Plant Science*. 94, 1255-1267.
- Choukan, R., 2011. Genotype, environment and genotype  $\times$  environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Crop Breeding Journal*. 1, 97-103. [In Persian with English summary].
- Dallo, S.C., Zdziarski, A.D., Woyann, L.G., Milioli, A.S., Zanella, R., Conte, J., Benin, G., 2019. Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-environment trials. *Euphytica*. 215, 1-12.
- Dehghani, M., Majidi, M., Saeidi, G., Mirlohi, A., Amiri, R., Sorkhilalehloo, B., 2015. Application of GGE biplot to analyse stability of Iranian tall fescue (*Lolium arundinaceum*) genotypes. *Crop and Pasture Science*. 66, 963-972.
- Eberhart, S.A., Russel, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6, 36-40.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, G.A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, K., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S.M., Zali, H., 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using

- multivariate methods. *Cereal Research*. 8, 333-344. [In Persian with English summary].
- Falconer, D.S., 1981. *Introduction to Quantitative Genetics* (2th ed). Longman London UK.
- FAOSTAT, 2018. <http://faostat3.fao.org/download/O/QC/E>
- Gauch, H.G., 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 46, 1488-1500.
- Gauch, H., Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*. 37, 311-326.
- Gerrish, B.J., Ibrahim, A.M., Rudd, J.C., Neely, C., Subramanian, N.K., 2019. Identifying mega-environments for hard red winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Texas. *Euphytica*. 215, 1-9.
- Hassani, M., Heidari, B., Dadkhodaie, A., Stevanato, P., 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root. Sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*. 214, 1-21.
- Jafari, T., Farshadfar, E., 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*. 8, 199-208. [In Persian with English summary].
- Jockovic, M., Cvejic, S., Jovic, S., Marjanovic-Jeromela, A., Miladinovic, D., Jockovic, B., Miklic, V., Radic, V., 2016. Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). *Turkish Journal of Field Crops*. 24, 202-210.
- Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Iafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., Keshavarzi, K., 2020. Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions. *Cereal Research*. 2, 135-147.
- Mahdavi, A.M., Babaeian Jelodar, N., Farshadfar, E., Bagheri, N., 2020. Evaluation of stability and adaption of bread wheat genotypes using univariate statistics parameters and AMMI. *Plant Genetic Researches*. 7, 19-32. [In Persian with English summary].
- Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J., Cornelius, P.L., 2004. Genotype × environment interaction in multi environment trials using shrinkage factors for AMMI models. *Euphytica*. 137, 119-127.
- Najafi Mirak, T., Moayedi, A.A., Sasani, Sh., Ghandi, A., 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 21, 127-138. [In Persian with English summary].
- Netshifhefhe, N., Flett, B., Viljoen, A., Rose, L., 2018. Inheritance and genotype by environment analyses of resistance to *Fusarium verticillioides* and fumonisin contamination in maize F1 hybrids. *Euphytica*. 214, 1-20.
- Pourdard, S.S., Jamshid Moghaddam, M., 2013. Study on genotype × environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*. 5, 1-14. [In Persian with English summary].
- Rakshit, S., Ganapathy, K.N., Gomashe, S.S., Rathore, A., Ghorade, R.B., Kumar, M.V.G., Ganesmurthy, K., Jain, S.K., Kamtar, M.Y., Sachan, J.S., Ambekar, S.S., Ranwa, B.R., Kanawade, D.G., Balusamy, M., Kadam, D., Sarkar, A., Tonapi, V.A., Patil, J.V., 2012. GGE biplot analysis to evaluate genotype. Environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica*. 185, 465-479.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H., 2008. Graphical analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal*. 100, 760-764.
- Safavi, S., Bahraminejad, S., 2017. The evaluation of genotype × environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding*. 922, 125-132. [In Persian with English summary].
- Saleem, R., Ashraf, M., Khalil, I.A., Anees, M.A., Javed, H.I., Saleem, A., 2016. GGE Biplot: stability a windows based graphical analysis of yield stability and adaptability of millet cultivars across Pakistan. *Academia Journal of Biotechnology*. 4, 186-193.
- Segherloo, A.E., Sabaghpour, S., Dehghani, H., Kamrani, M., 2010. Screening of superior chickpea genotypes for various environments of Iran using genotype plus genotype × environment (GGE) biplot analysis. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2, 286-292.
- Setimela, P., Vivek, B., Banziger, M., Crossa, J., Maiden, F., 2007. Evaluation of early to medium maturing open pollinated maize varieties in SADC region using GGE biplot based on the SREG model. *Field Crops Research*. 103, 161-169.

- Shiri, M.R., Bahrapour, T., 2015. Genotype  $\times$  environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Research. 5, 83-94. [In Persian with English summary].
- SPSS Inc., 2010. SPSS 20. Users Guided. Chicago. USA.
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., Jarso, M., 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. The Crop Journal. 3, 258-268.
- Vaezi, B. Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour T., Dorii, M., 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. Cereal Research Communications. 45, 500-511.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H., Siddique, K.H., 2019. Integrating different stability models to investigate genotype  $\times$  environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. Euphytica. 215, 1-18.
- Yan, W., Kang, M.S., 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press. Boca Raton. FL. USA. 271p.
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., woods, S., Cornelius, P.L., 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype -by- environment data. Crop Science. 47, 643-655.
- Yan, W., Hunt, L.A., Shen, Q., Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science. 40, 597- 605.
- Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J., Hunt, L.A., 2001. Two type of GGE biplots for analyzing multi environmental trial data. Crop Science. 41, 656-663.
- Zhu, Y.H., Weiner, J., Li, F.M., 2019. Root proliferation in response to neighbouring roots in wheat (*Triticum aestivum* L.). Basic and Applied Ecology. 39, 10-14.
- Zobel, R.W., Wright M.J., Gauch, H.G., 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal. 80, 388-393.