

Graphic analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction on the seed yield of sunflower

Mehdi Ghaffari¹, Amir Gholizadeh^{*2}, Seyyed Abbasali Andarkhor³, Asadollah Zareei Siahbidi⁴,

Seyed Ahmad Kalantar Ahmadi⁵, Farnaz Shariati⁶ and Abbas Rezaeizad⁷

1,6. Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. 2. Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. 3. Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran. 4,7. Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran. 5. Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran..

(Received: June 1, 2021- Accepted: November 5, 2021)

ABSTRACT

Studying the reaction of the different genotypes under different environmental conditions helps breeders to detect stable and high-yielding genotypes. In this regard, 11 new sunflower hybrids along with four cultivars (Golsa, Ghasem, Shams, and Farrokh) were evaluated in a randomized complete block design with four replications in four experimental field stations (Karaj, Sari, Kermanshah, and Dezful) during two cropping seasons. GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype × environment interaction) was used to study the adaptation of genotypes in the studied environments. Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes, and genotype × environment interaction were significant, suggesting that the genotypes responded differently in the studied environment conditions. Results of the GGE biplot method showed that the two first and second principal components of the GGE biplot explained 66.4% of the total seed yield variation. Based on the biplot polygon view, the hybrid RGK15×AGK1221 in Sari and Karaj locations and the hybrid RGK25×AGK330 and Shams cultivar in Dezful location were superior genotypes with the high specific adaptation. Besides, all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes. Sari environment was the nearest environment to the ideal environment that had the highest discriminating ability and representativeness.

Keywords: Genotype × environment interaction, ideal genotype, seed yield, specific adaptation, sunflower.

تجزیه گرافیکی ژنوتیپ و محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه آفتابگردان

مهدی غفاری^۱، امیر قلی زاده^{۲*}، سید عباسعلی اندرخور^۳، اسدالله زارعی سیاه بیدی^۴، سید احمد کلانتر احمدی^۵، فرناز

شریعتی^۶ و عباس رضایی زاد^۷

۱ و ۶- دانشیار و استادیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ۴ و ۷- استادیار و دانشیار، استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۴)

چکیده

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط محیطی متفاوت به به‌نژادگران در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار کمک می‌کند. در این راستا، یازده هیبرید جدید آفتابگردان به همراه چهار رقم گل‌سا، قاسم، شمس و فرخ در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال زراعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. از روش آماری GGE بای پلات با مدل اثر ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ارزیابی سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی استفاده شد. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود. نتایج روش GGE بای پلات نشان داد که دو مولفه اول و دوم GGE بای پلات، ۶۶/۴

* Corresponding author E-mail: a.gholizadeh@areeo.ac.ir

درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه می‌کنند. بر اساس نمودار چندضلعی بای‌پلات، هیبرید **RGK15×AGK1221** در ساری و کرج و هیبرید **RGK25×AGK330** و رقم شمس در دزفول، ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بودند و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط ساری، نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد. **واژه‌های کلیدی:** اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، آفتابگردان، ژنوتیپ ایده‌آل، سازگاری خصوصی، عملکرد دانه.

مقدمه

ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محیطی مختلف دارای عملکرد مطلوب و پایداری باشند، به دلیل برهمکنش شدید ژنوتیپ × محیط، امر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد (Yau *et al.*, 1991). در برنامه‌های به‌نژادی به‌طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Eberhart & Russell, 1996).

روش‌های مختلفی شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره، ناپارامتری و چندمتغیره، برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به‌کار برده شده است. 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 می‌باشد. روش GGE بای‌پلات با استفاده از روش‌های چند متغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را آسان می‌کند (Allahgholipour, 2016). این روش برخلاف سایر روش‌ها، به‌طور 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 به‌وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر می‌باشند، اندک است. از آن‌جا که محیط، یک عامل غیرقابل کنترل می‌باشد، از این‌رو در روش

آفتابگردان زراعی با نام علمی *Helianthus annuus* L گیاهی یکساله از خانواده کلاهپرسنان یا Asteraceae است که محل پراکنش اولیه آن، آمریکای مرکزی گزارش شده است (Seiler & Rieseberg, 1997). آفتابگردان از نظر سطح زیر کشت بعد از سویا، کلزا و بادام زمینی، به‌عنوان چهارمین گیاه دانه روغنی در سراسر جهان مطرح است. روغن آفتابگردان به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (Anjum *et al.*, 2012). قابلیت کشت بهاره و تابستانه آفتابگردان در مناطق معتدل و مرطوب شمال، سرد و معتدل سرد و قابلیت کشت پاییزه و زمستانه در مناطق گرمسیر جنوب کشور، نشان‌دهنده قابلیت و اهمیت بالای این گیاه در تناوب زراعی مناطق مختلف کشور است و می‌تواند بسته به مناطق مذکور، جایگاه ویژه‌ای را برای خود تثبیت نماید (Ghaffari *et al.*, 2019). طول دوره رویش کم (حدود ۱۰۰ روز)، تحمل به خشکی نسبی، مصرف آب کمتر در مقایسه با گیاهانی مانند سویا و ذرت، درصد روغن بالا و سازگاری وسیع به مناطق مختلف آب و هوایی از جمله مزایایی است که اهمیت حفظ آفتابگردان در سبد تولید روغن کشور را توجیه می‌کند (Ghaffari *et al.*, 2019)؛ با توجه به این ویژگی‌های مهم، تولید آفتابگردان در کشور باید افزایش داشته باشد. به دلیل وجود محصولات رقیب و محدودیت زمین‌های زراعی، یکی از راه‌حل‌های موثر در افزایش تولید آفتابگردان، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ژنوتیپ‌های پرمحصول خواهد بود؛ بنابراین به‌نژادی و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا، از اهمیت زیادی برخوردار است. عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهمکنش آن‌ها قرار می‌گیرد. شناسایی

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 ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد دانه بالا برای هر منطقه در آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۱ هیبرید جدید آفتابگردان به همراه ارقام گل‌سا، قاسم، شمس و فرخ در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۹ و ۱۳۹۸) ارزیابی شدند. نام و مبداء ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ آمده است.

GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط، به کار گرفته می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (Yan *et al.*, 2007). در روش گرافیکی GGE بای‌پلات، علاوه بر شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی، 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 & Myers, 2006)، عدس (Sabaghnia *et al.*, 2008)، سورگوم (Rakshit *et al.*, 2012)، گلرنگ (Jamshidmoghaddam & Pourdad, 2013)، ذرت (Dehghani *et al.*, 2015)، چغندر (Hassani *et al.*, 2018)، سویا (Dalló *et al.*, 2019)، گندم نان (Gerrish *et al.*, 2019)، جو (Vaezi *et al.*, 2019)، آفتابگردان (Hemmati *et al.*, 2018; Ansarifard *et al.*, 2020; Amiri Oghan *et al.*, 2020) و کلزا (Saremi-Rad *et al.*, 2020) استفاده شده است.

جدول ۱- شماره، نام و مبداء ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

Table 1. Genotypic code, name and origin of the tested sunflower genotypes.

No	Code	Name/pedigree	Origin
1	G1	RGK25×AGK330	Iran
2	G2	RGK15×AGK376	Iran
3	G3	RGK15×AGK370	Iran
4	G4	RGK15×AGK358	Iran
5	G5	RGK111×AGK32	Iran
6	G6	RGK21×AGK2	Iran
7	G7	RGKo54×AGKo60	Iran
8	G8	RGK15×AGK1221	Iran
9	G9	RGK21×AGKo42	Iran
10	G10	RGK111×AGK78	Iran
11	G11	RGK24×AGK370	Iran
12	G12	Golsa	Iran
13	G13	Ghasem	Iran
14	G14	Shams	Iran
15	G15	Farrokh	Iran

و به فواصل ۲۵ سانتی‌متر از هم انجام شد. یک روز بعد از کشت، آبیاری انجام شد و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه صورت گرفت. تنک کردن بوته‌ها بعد از سبز شدن و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله انجام گرفت. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف شد. در ادامه، تمام بوته‌های کرت برداشت شدند و پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرمکوبی شدند و

مشخصات فنی و زراعی (نوع طرح آزمایشی، نحوه کاشت، داشت و برداشت) هشت 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 خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمون خاک، اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل سه خط کاشت به طول سه متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت دستی و با قرار دادن سه عدد بذر در هر کپه

وزن دانه‌های به‌دست آمده با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و پس از تبدیل، به‌عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

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

Code	Location	Cropping season	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Rainfall (mm)
Krj19	Karaj	2018-2019	50° 54'	35° 56'	1312	300
Krj20	Karaj	2019-2020				
Sa19	Sari	2018-2019	53° 10'	36° 41'	29	650
Sa20	Sari	2019-2020				
Krm19	Kermanshah	2018-2019	47° 26'	34° 08'	1346	468
Krm20	Kermanshah	2019-2020				
Dez19	Dezful	2018-2019	48° 32'	32° 22'	82	319
Dez20	Dezful	2019-2020				

تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای (SPSS ver 20 (2010) و GGEbiplot ver 3.8 استفاده شد.

نتایج و بحث

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسیمروف برای هر محیط به‌طور جداگانه انجام گرفت و نتایج نشان داد که باقی‌مانده داده‌های هر محیط از توزیع نرمال برخوردار بود (جدول ۳). قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت نیز به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد (مقدر آماره کای-دو برابر با ۱۴/۴۷ و غیرمعنی‌دار) و نتایج نشان داد که واریانس محیط‌های مختلف یکسان بود و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی مکان، سال و ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان، ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان × سال در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). اثر معنی‌دار مکان می‌تواند برآمده از عواملی همچون خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و غیره باشد. دلیل تفاوت بین سال‌ها نیز می‌تواند از یکسان نبودن عوامل جوی همچون حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و خاک در مناطق و غیره باشد. اثر معنی‌دار ژنوتیپ، نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (ژنوتیپ × مکان × سال) در این مطالعه نیز نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار (SPSS ver 20) مورد بررسی قرار گرفت. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (Yan & Kang, 2003) انجام شد. به‌منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به‌صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم شد و به نرم‌افزار GGE بای‌پلات معرفی شد و رسم نمودارهای بای‌پلات بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش بر اساس رابطه زیر است:

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

که در این رابطه، y_{ij} : ارزش میانگین ژنوتیپ i ام برای محیط j ام، μ : میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j : اثر اصلی محیط j ام، g_{i1} و e_{1j} : به‌ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام، g_{i2} و e_{2j} : به‌ترتیب مقادیر ثانویه برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام و 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. برای تجزیه و

گزارش کرده‌اند (Jamshidmoghaddam & Pourdard, 2013; Shiri & Bahrapour, 2015; Jockovic *et al.*, 2016; Safavi & Bahraminejad, 2017; Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2018; Vaezi *et al.*, 2019).

عملکرد دانه از محیطی به محیط دیگر بود. به بیان دیگر، عملکرد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف، دارای نوساناتی بوده است و تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. پژوهشگران دیگری نیز اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را در محصولات مختلف

جدول ۳- مقادیر P-value برای آزمون کولموگروف-اسیمرنوف برای نرمال بودن خطاهای آزمایشی در آفتابگردان

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

Location	Test statistic	
	2018-2019	2019-2020
Karaj	0.08 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Sari	0.06 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Kermanshah	0.07 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Dezful	0.06 ^{ns}	0.08 ^{ns}

ns: نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی.

ns: Normality of experimental errors distribution.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف

Table 4. Combined variance analysis of the sunflower genotypes seed yield in different environments.

Source of variations	df	Mean square
Location	3	58735118.5**
Year	1	3859612.0**
Location × Year	3	23560381.8**
Replication (Location × Year)	24	1550923.8
Genotype	14	2359830.2**
Genotype × Location	42	1034632.4**
Genotype × Year	14	463532.6**
Genotype × Location × Year	42	562815.4**
Error	336	119452.5
Total	479	

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

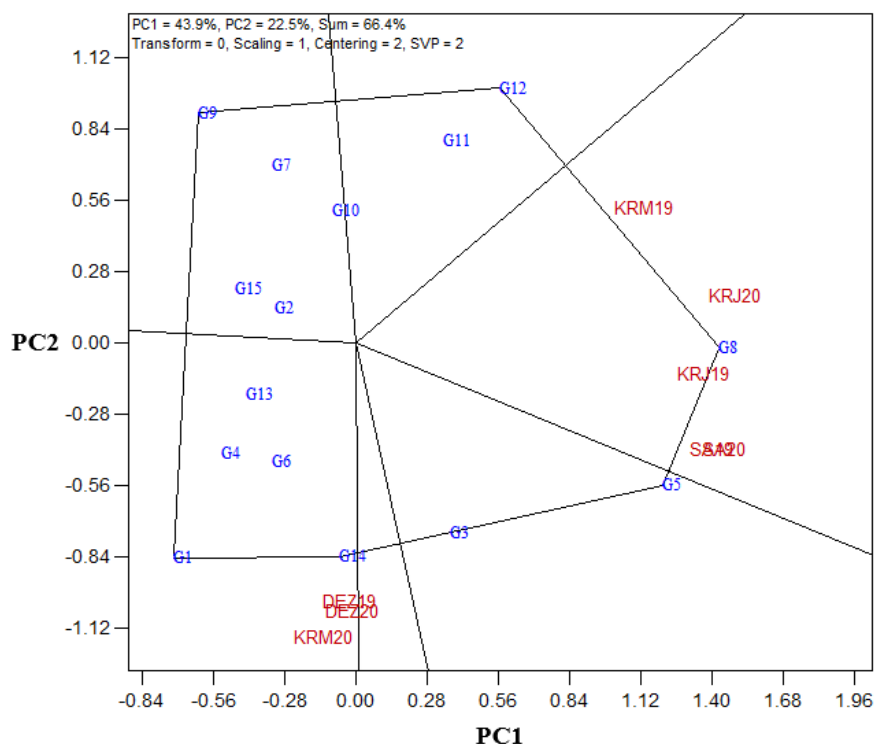
** : Significant at the 1% of probability level.

همه محیط‌هایی که در درون آن قسمت قرار گرفته‌اند، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالا با آن محیط‌ها می‌باشد (Yan *et al.*, 2000). ژنوتیپ‌هایی که در درون هر قسمت قرار می‌گیرند نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی دارند. بنابراین، وجود واریانس کم درون محیط‌های بزرگ و واریانس زیاد بین محیط‌های بزرگ، یکی از ویژگی‌های نمودارهای چندضلعی می‌باشد (Gauch & Zobel, 1997). از نمودار چندضلعی، برای 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;

نتایج حاصل از روش GGE بای پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۳/۹ و ۲۲/۵ درصد و در مجموع ۶۴/۴ درصد از تغییرات مربوط به ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. یکی از موارد استفاده از GGE بای پلات، رسم نمودار چندضلعی (Polygon) است. برای رسم این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که از مبدأ مختصات نمودار بای پلات دور هستند، در رأس چندضلعی و ژنوتیپ‌های دیگر، در درون چندضلعی قرار می‌گیرند و سپس خط‌هایی از مبدأ نمودار بای پلات و عمود بر هر طرف چندضلعی رسم می‌شوند؛ این خط‌ها، نمودار بای پلات را به چند قسمت تقسیم می‌کنند. در درون هر قسمت (محیط کلان)، ژنوتیپی که در رأس چندضلعی قرار دارد، در

و کرمانشاه سال دوم (Krm20) بود که ژنوتیپ‌های G14 و G1 ژنوتیپ‌های برتر این محیط کلان بودند. ژنوتیپ‌های G9، G12، G5 و G3 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بودند، در هیچ کدام از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که بیانگر عدم تولید عملکرد دانه بالای این ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها بود (شکل ۱). در محیط کلان دوم، ژنوتیپ‌های G4، G6 و G13 علاوه بر ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس چندضلعی (ژنوتیپ‌های G1 و G14) وجود داشتند. این ژنوتیپ‌ها نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی داشتند.

(Temesgen *et al.*, 2015). نمودار چندضلعی بای پلات (شکل ۱) برای ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی آفتابگردان نشان داد که هفت ژنوتیپ G9، G12، G8، G5، G3، G14 و G1 که بیشترین فاصله را از مبدأ بای پلات داشتند و در رأس‌های چندضلعی قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بودند. همچنین در این مطالعه دو محیط کلان مشخص شد که محیط کلان اول شامل پنج محیط ساری سال اول (Sa19)، ساری سال دوم (Sa20)، کرج سال اول (Krz19)، کرج سال دوم (Krz20) و کرمانشاه سال اول (Krm19) بود که ژنوتیپ G8 ژنوتیپ برتر این محیط‌ها بود. محیط کلان دوم شامل سه محیط دزفول سال اول (Dez19)، دزفول سال دوم (Dez20)



شکل ۱- نمایش چندضلعی بای پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در آفتابگردان. PC1: مولفه اصلی اول، PC2: مولفه اصلی دوم.

Figure 1. Biplot polygon view of the genotypes and environments grouping in sunflower. PC1: first principal component, PC2: second principal component.

برهمکنش متقاطع یا کراس‌آوری نسبت به هم هستند. (Yan & Kang, 2003). با توجه به نتایج گروه‌بندی محیط‌ها می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع اثر متقابل (مناطق و غیرمناطق) در آزمایش‌های چندمحیطی آفتابگردان وجود دارد. در یک برنامه

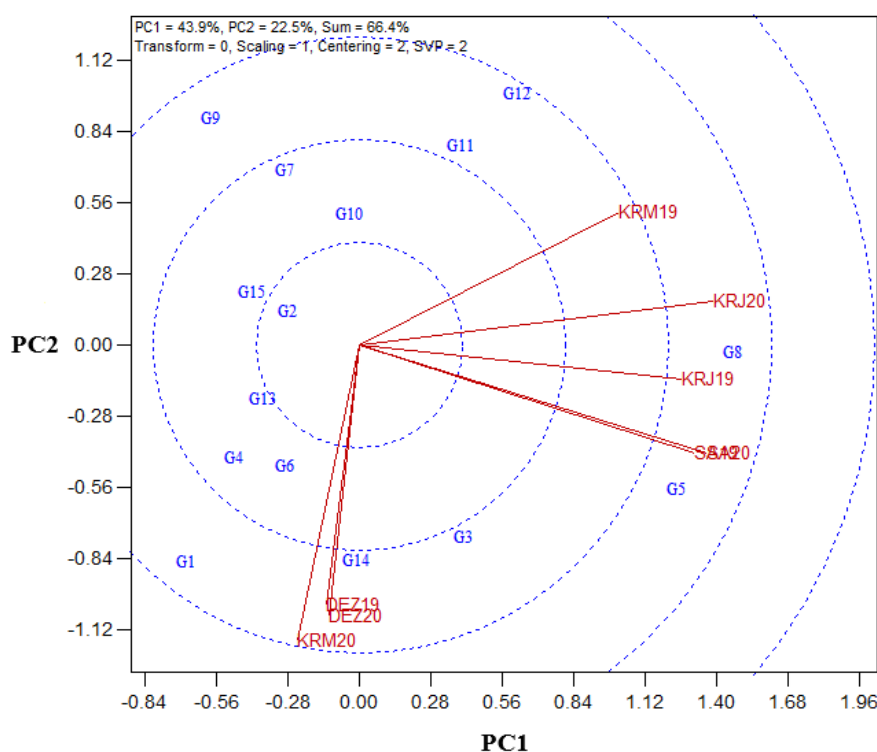
محیط‌هایی که در یک محیط کلان قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، به هم نزدیک هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع، در یک محیط کلان قرار می‌گیرند. در مقابل، محیط‌هایی که در محیط‌های کلان متفاوت قرار می‌گیرند، دارای

هوایی این مناطق طی چند سال، روی عملکرد آفتابگردان تأثیری نداشته است و پیشنهاد می‌شود که به‌منظور کاهش هزینه برنامه‌های به‌نژادی در این ایستگاه‌ها، آزمایش‌های بررسی ژنوتیپ‌های آفتابگردان را با تعداد سال کمتری انجام داد. همچنین زاویه بین بردارهای محیط‌های کرمانشاه سال اول (Krm19) و کرمانشاه سال دوم (Krm20)، بالاتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر همبستگی منفی بین این دو محیط و یا به عبارت دیگر، تفاوت زیاد شرایط جوی کرمانشاه طی دو سال تحت بررسی بود؛ به عبارت دیگر، نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه است.

ویژگی مهم دیگر در نمودار بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیط است. طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد که این انحراف معیار، توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Yan & Kang, 2003). محیط‌های با طول بردار بلندتر، دارای انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری هستند. یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط، قابلیت تمایز آن محیط می‌باشد، به‌طوری که محیط‌هایی که قابلیت تمایز خوبی ندارند، نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌ها ارائه نمایند. نمودار بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان داد (شکل ۲) که هر دو سال ساری (Sa19 و Sa20)، هر دو سال کرچ (Krj19 و Krj20) و سال دوم کرمانشاه (Krm20)، دارای طول بردارهای بلندتری نسبت به سایر محیط‌ها بودند که نشان‌دهنده قدرت تمایز بالای این محیط‌ها بود؛ بنابراین مکان‌های ساری و کرچ می‌توانند در آزمایش‌های بررسی ارقام، تمایز مطلوبی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ایجاد نمایند. نمودار بای‌پلات همبستگی محیط‌ها برای ارزیابی قدرت تمایز محیط‌ها در کلزا (Pourdard & Jamshidi, 2013)، باقلا (Zelege & Berhanu, 2016)، گندم نان (Jafari & Farshadfar, 2018) و گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018) استفاده شده است.

اصلاحی، هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت، اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌طور همزمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت. در پژوهش Saremi-Rad et al. (2020) نیز هر دو نوع اثر متقابل در آفتابگردان گزارش شده است.

از روش GGE بای‌پلات برای پی‌بردن به رابطه بین محیط‌های مورد مطالعه نیز می‌توان استفاده کرد که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ بای‌پلات وصل می‌شوند (شکل ۲). در نمودار بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها، تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. هر اندازه زاویه بین دو بردار محیط کوچک (کمتر از ۹۰ درجه) باشد به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها است که بیانگر این مطلب است که خصوصیات ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها مشابه است و در صورت تکرار این نتایج در سال‌های بعد، می‌توان محیط‌های مشابه را حذف کرد و از یکی از محیط‌ها استفاده نمود که این کار سبب صرفه‌جویی در هزینه می‌شود. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۱۸۰ درجه باشد، همبستگی بین محیط‌ها، -۱ و اگر ۹۰ درجه باشد، همبستگی صفر خواهد بود (Yan & Kang, 2003). بررسی همبستگی بین محیط‌ها نشان داد (شکل ۲) که زاویه بین بردارهای محیطی دو سال ساری (Sa19 و Sa20)، دو سال کرچ (Krj19 و Krj20) و دو سال دزفول (Dez19 و Dez20) کوچک بوده است و تشابه شرایط آب و هوایی در دو سال این مناطق را نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی بین بردارهای دو سال، در مناطق ساری و دزفول مشاهده شد که نزدیک به مثبت یک بود. این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. بنابراین با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد و در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و

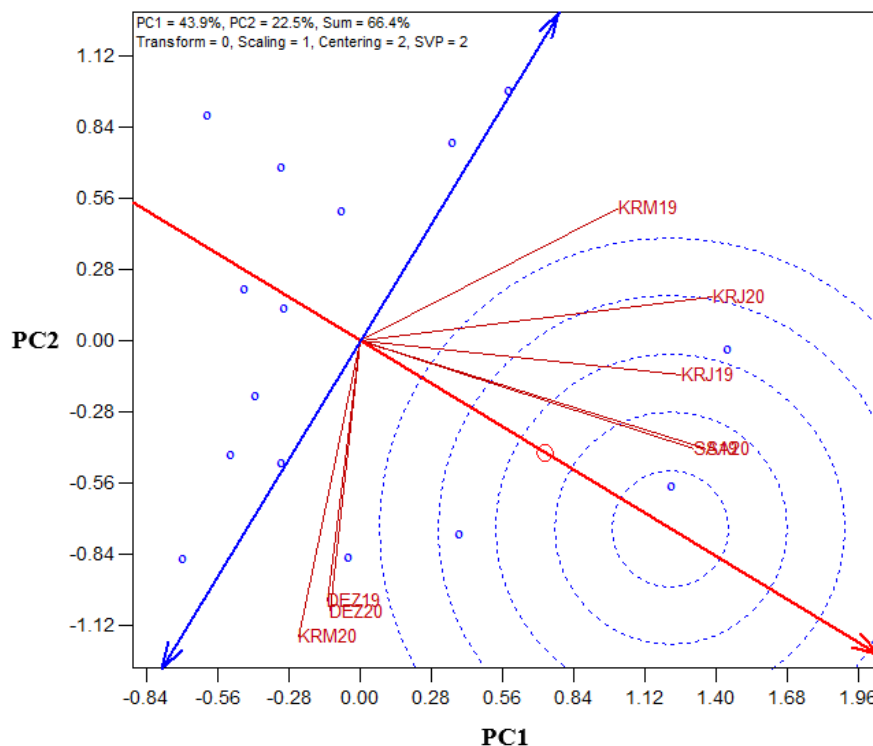


شکل ۲- نمایش بای پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه در آفتابگردان. PC1: مولفه اصلی اول، PC2: مولفه اصلی دوم.

Figure 2. Biplot view of the displaying the relationships among the studied environments in sunflower. PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، ممکن است اطلاعات گمراه‌کننده‌ای درباره ژنوتیپ‌های مورد آزمایش ارائه دهند. بنابراین، یک محیط ایده‌آل محیطی است که می‌تواند به‌عنوان نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها است (Jafari & Farshadfar, 2018). در این پژوهش در بین محیط‌های مورد ارزیابی، محیط‌های ساری اول (Sa19) و ساری دوم (Sa20)، نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل فرضی بودند (شکل ۳) و به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که بیانگر توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر می‌باشد، به‌عنوان محیط مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر آفتابگردان در این مطالعه شناخته شد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم نمودار بای پلات محیط‌ها، میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط کلان است؛ محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل فرضی رتبه‌بندی می‌کنند. محیط ایده‌آل فرضی محیطی است که دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز باشد و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم مرکز بای پلات قرار دارد (Yan & Kang, 2003). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (فلش یا پیکانی که از سمت چپ بالا به طرف سمت راست پایین امتداد دارد و با رنگ قرمز مشخص شده است)، شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری یک محیط است. هر چقدر این زاویه کوچکتر باشد، میزان بیانگری بیشتر است و محیط مورد نظر، نماینده بهتری از محیط کلان هدف خواهد بود. اگر محیط‌های



شکل ۳- نمایش بای پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در آفتابگردان. PC1: مولفه اصلی اول، PC2: مولفه اصلی دوم

Figure 3. Biplot view of the studied environments comparing with the ideal environment in sunflower. PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

نشان داد که بیشترین همبستگی بین بردارهای دو سال، در مناطق ساری و دزفول مشاهده شد که نزدیک به مثبت یک بود. این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. همچنین بر اساس نتایج نمودار بای پلات محیط ایده‌آل، مکان ساری بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد و به‌عنوان مکان مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر آفتابگردان در این مطالعه شناخته شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش گرافیکی GGE بای پلات، روشی با کارایی مناسب برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است و اطلاعات خوبی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در اختیار قرار می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، ژنوتیپ‌های G1 و G14 در مکان دزفول و ژنوتیپ G8 در مکان‌های ساری و کرج، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر و دارای سازگاری خصوصی بالا به این مکان‌ها بودند. نمایش برداری همبستگی بین محیط‌ها نیز

REFERENCES

1. Allahgholipour, M. (2016). Genotype × environment interaction effect in rice genotypes using GGE Biplot. *Cereal Research*, 6, 1-14. (In Persian).
2. 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).
3. Anjum, F. M., Nadeem, M., Khan, M. I. & Hussain, S. (2012). Nutritional and therapeutic potential of sunflower seeds: a review. *British Food Journal*, 114, 544-552.

4. Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Reza Bihamta, M. & Ramshini, H. (2020). A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition*, 8: 3327-3334.
5. Blanche, S. B. & Myers, G. O. (2006). Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46, 946-949.
6. 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.
7. 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).
8. Dalló, 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.
9. 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.
10. Eberhart, S. T. & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, 6, 36-40.
11. Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, G. A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, M., 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).
12. Gauch, H. & Zobel, R. W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37, 311-326.
13. Gauch, H. G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46, 1488-1500.
14. 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.
15. Ghaffari, M., Davaji, A. M. N. R. & Naserghadimi, F. (2019). Oil yield determinant of sunflower in climatically different regions of Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25, 67-71.
16. 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.
17. Hemmati, I., Pourdard, S. S. & Choukan, R. (2018). Studying the genotype \times environment interaction under different conditions of moisture stress using graphical GGE biplot analysis in synthetic varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11, 471-480. (In Persian).
18. Jafari, T. & Farshadfar, E. (2018). Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8, 199-208. (In Persian).
19. Jamshidmoghadam, M. & Pourdard, S. S. (2013). Genotype \times environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, 190, 357-369.
20. Jockovic, M., Cvejic, S., Jovic, S., Marjanovic-Jeromela, A., Miladinovic, D., Jockovic, B., Miklic, V. & Radic, V. (2019). Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). *Turkish Journal of Field Crops*, 24, 202-210.
21. 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).
22. Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J. & Cornelius, P. (2004). Genotype \times environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. *Euphytica*, 137, 119-127.
23. Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. & Zali, H. (2018). Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. *Journal of Crop Breeding*, 10, 1-12. (In Persian).
24. 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.

25. Pourdad, S. S. & Jamshidi Mohjadam, M. (2013). Study on genotype \times environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5, 1-13. (In Persian).
26. Rakshit, S., Ganapathy, K., Gomashe, S., Rathore, A., Ghorade, R., Kumar, M. N., Ganesmurthy, K., Jain, S., Kamtar, M. & Sachan, J. (2012). GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica*, 185, 465-479.
27. Sabaghnia, N., Dehghani, H. & Sabaghpour, S. H. (2008). Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100, 760-764.
28. Safavi, S. & Bahraminejad, S. (2017). The evaluation of genotype \times environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding*, 922, 125-132. (In Persian).
29. Saremi-Rad, A., Mostafavi, K. & Mohammadi, A. (2020). Genotype-environment interaction study base GGE biplot method for kernel yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 12, 43-53. (In Persian).
30. Seiler, G. J. & Rieseberg, L. H. (1997). Systematics, origin, and germplasm resources of the wild and domesticated sunflower. *Sunflower Technology and Production*, 35, 21-65.
31. Shiri, M. R. & Bahrampour, 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).
32. SPSS Inc. (2010). SPSS 20. Users Guide. Chicago, USA.
33. Temesgen, M., Alamerew, S. & Eticha, F. (2015). GGE biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in south east Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*, 11, 183-190.
34. 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.
35. Yan, W. & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. *CRC Press*, Boca Raton, FL, 605 pp.
36. Yan, W., Cornelius, P. L., Crossa, J. & Hunt, L. (2001). Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*, 41, 656-663.
37. Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q. & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
38. 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.
39. Yau, S., Ortiz-Ferrara, G. & Srivastava, J. (1991). Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. *Crop Science*, 31, 571-576.
40. Zeleke, A. & Berhanu, F. (2016). AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. *Journal of Biology Agriculture and Helathcare*, 6, 127-135.
41. Zobel, R. W., Wright, M. J. & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.