

**ORIGINAL ARTICLE**

# Assessment of genotype × environment interaction in oilseed sunflower genotypes under normal and limited irrigation conditions using GGE Biplot method

Nasrin Akbari, Reza Darvishzadeh\*

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

**Correspondence**

Reza Darvishzadeh

Email: [r.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

**How to cite**

Akbari, N., & Darvishzadeh, R. (2023). Assessment of genotype × environment interaction in oilseed sunflower genotypes under normal and limited irrigation conditions using GGE Biplot method. *Crop Biotechnology*, 12(41), 37-48.

**ABSTRACT**

With expensing the amount of data, speed and accuracy in breeding evaluations are very important. The multivariate statistical methods, such as GGE Biplot that reduce the data volume and computational complexity, help in this direction. The use of GGE is useful for introducing genotypes with high stability and performance. Therefore, in order to introduce a stable genotype with high adaptation to drought stress, 100 oilseed sunflower genotypes were evaluated in a 10×10 simple lattice design under normal and limited irrigation conditions during two successive years (2013-2014). The results of composite variance analysis revealed a significant difference among genotypes in terms of the evaluated agromorphological traits. Based on graphical evaluation of genotype × environment interaction using GGE Biplot in metan program under R, genotypes 57 (SDR19), 41 (F1250/03), 8 (254-ENSAT), 24 (8ASB2) and 26 (H049+FSB) were introduced as the best genotypes in terms of stability and performance. The genotype 8 (254-ENSAT) had the highest performance among all genotypes in all environments. Meanwhile, genotypes 26 (H049+FSB) had the highest performance in Y1D (First year-limited irrigation) and Y1N (First year-normal irrigation) environments, and genotypes 57 (SDR19), 41 (F1250/03) and 24 (8ASB2) had the highest performance in Y2D (Second year -limited irrigation) and Y2N (Second year -normal irrigation) environments. Based on the results, genotype with code number of 8 with high and stable performance can be used in all environments as a parent in the development of high-yielding and stress-tolerant hybrids. The results show that GGE Biplot is a useful statistical method to achieve practical and accurate results.

**KEYWORDS**

Genotype × environment interaction, Stability, Drought stress, Oilseed plants.

نشریه علمی

## زیست فناوری گیاهان زراعی

«مقاله پژوهشی»

## ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط آبیاری نرمال و محدود با روش بای پلات GGE

نسرین اکبری، رضا درویش‌زاده\*

## چکیده

با گسترش حجم داده‌ها، سرعت و دقت در ارزیابی‌های به‌نژادی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. روش‌های آماری چند متغیره، مانند GGE، با کاهش حجم داده و پیچیدگی‌های محاسباتی، کمک شایانی در این راستا می‌نمایند. استفاده از GGE جهت معرفی ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین سازگاری و بالاترین عملکرد هستند، سودمند ارزیابی شده است. به منظور معرفی ژنوتیپ پایدار با سازگاری بالا به تنش خشکی، ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ طی دو سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۹۳) در شرایط آبیاری نرمال و محدود ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات آگرومورفولوژیک مورد ارزیابی اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد. بر اساس ارزیابی گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با GGEbiplot از برنامه metan تحت R، ژنوتیپ‌های شماره ۵۷ (SDR19)، ۴۱ (F1250/03)، ۸ (254-ENSAT)، ۲۴ (8ASB2) و ۲۶ (H049+FSB) از نظر پایداری و عملکرد جز برترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT) بالاترین عملکرد را در بین تمام ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها نشان داد. در مقابل ژنوتیپ ۲۶ (H049+FSB) بیشترین عملکرد را در محیط‌های Y1D (سال اول- آبیاری محدود) و Y1N (سال اول- آبیاری نرمال) و ژنوتیپ‌های ۵۷ (SDR19)، ۴۱ (F1250/03) و ۲۴ (8ASB2) بیشترین عملکرد را در محیط‌های Y2D (سال دوم آبیاری محدود) و Y2N (سال دوم- آبیاری نرمال) نشان دادند. بر اساس نتایج از ژنوتیپ شماره ۸ با عملکرد بالا و پایدار در تمام محیط‌ها می‌توان به عنوان والد در توسعه هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد بای پلات GGE روش آماری سودمندی در جهت دستیابی به نتایج کاربردی و دقیق می‌باشد.

## واژه‌های کلیدی

اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط، پایداری، تنش خشکی، گیاهان دانه روغنی.

گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول:

رضا درویش‌زاده

رایانامه: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

استناد به این مقاله:

اکبری، نسرین و درویش‌زاده، رضا (۱۴۰۱). ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط آبیاری نرمال و محدود با روش بای پلات GGE. فصلنامه علمی زیست فناوری گیاهان زراعی، ۱۲(۴۱)، ۳۷-۴۸.

## مقدمه

آفتابگردان به دلیل برخورداری از روغنی با کیفیت بالا و سازگاری گسترده با شرایط اقلیمی و خاکی، یکی از با ارزش‌ترین دانه‌های روغنی در جهان می‌باشد (Khalifani et al., 2022). تخمه آفتابگردان یک ترکیب غنی حاوی ۳۰-۵۰ درصد روغن خوراکی و ۲۰-۳۰ درصد پروتئین است. روغن آفتابگردان حاوی ۹۰٪ اسیدهای چرب غیر اشباع (۶۰٪ اسید لینولئیک) می‌باشد (Rauf, 2019). ترکیب روغن دانه متأثر از دما، نور، رطوبت و تاریخ کاشت می‌باشد (Hussain Shah et al., 2023). با توجه به تغییرات اقلیمی تولید و توسعه ارقام هیبرید پر محصول با سازگاری بالا از اهمیت اساسی برخوردار می‌باشد.

رشد و نمو گیاهان زراعی و به ویژه پتانسیل عملکرد تحت تأثیر عوامل متعدد غیرزیستی و زیستی و همچنین فعالیت‌های انسانی قرار دارد. این جنبه‌ها، همراه با ساختار ژنتیکی، بر شکل و اندازه‌ی تعامل ژنوتیپ-محیط (GEI) و در نتیجه ثبات عملکرد یک رقم تأثیر می‌گذارند (Mađry et al., 2006). برهمکنش ژنوتیپ در محیط (G×E) عامل اصلی محدودکننده در انتخاب موفق ژرم‌پلاسما و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است (Enyew et al., 2021). این برهمکنش ژنتیکی ارتباط بین مقادیر فنوتیپی و ژنوتیپی و پیشرفت انتخاب را کاهش می‌دهد (Saeidnia et al., 2021). درک نسبی تعاملات ژنوتیپ در محیط کمک شایان توجهی به بهینه‌سازی طرح‌های به‌نژادی می‌نماید. در این راستا آزمایشات چند محیطی نقش اساسی در بررسی تعاملات ژنوتیپ در محیط و انتخاب ژنوتیپ‌هایی دارند، که در محیط‌های مختلف از بهترین عملکرد؛ عملکرد بالا و با ثبات، برخوردارند (Yasar et al., 2023). سازگاری و پایداری عملکرد معیار مهمی برای کشت مؤثر گونه‌های زراعی در مناطق مختلف کشاورزی-اقلیمی است.

تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط و بررسی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف با استفاده از روش‌های آماری مختلف مانند مدل‌های پایداری پارامتری از قبیل رگرسیون ابره‌ارت و راسل (Eberhart & Russell, 1996)، اثرات اصلی افزایشی و متقابل ضربی (AMMI) (Gauch, 1992)، اثرات اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GGE) (Yan et al., 2000)، مدل شمی یا مدل ضرب‌پذیر متغیر<sup>۲</sup> (Shifted Multiplicative Model) و

Gauch) GGE biplot (GT and GL) قابل ارزیابی هستند (Zobel, 1996; Cornelius et al., 1996; Crossa et al., 1996; Yan, 2001; Yan & Tinker, 2006). تجزیه و تحلیل بای‌پلات GGE با تولید چهار نوع نمودار شامل (یک) -کجا، (سه) رابطه بین مکان‌های آزمون، و (چهار) رتبه‌بندی تبعیض و نمایندگی آزمون انجام می‌شود. در همه این نمودارها مؤلفه اول ارزیابی عملکرد و مؤلفه دوم پایداری عملکرد را مد نظر قرار می‌دهد (Yan & Kang, 2003). زوایای بین بردارهای مکان در بای‌پلات GGE برای قضاوت در مورد همبستگی بین جفت مکان‌ها استفاده می‌شود (Yan & Kang, 2003). بای‌پلات‌های AMMI و GGE مؤثرترین، رایج‌ترین و مناسب‌ترین مدل‌های چند متغیره برای تجزیه و تحلیل پایداری، سازگاری و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در انتخاب چند محیطی هستند (Jamshidmoghaddam, 2013; Yan & Tinker, 2006) که در گیاهان متعدد از جمله سورگوم (Enyew et al., 2021)، آفتابگردان (Alem et al., 2016; Ansarifard et al., 2020; Musa-Khalifani et al., 2021; Yasar et al., 2023)، بادام زمینی بامبارا (Olanrewaju et al., 2021)، گندم (Singh et al., 2019) و (Saeidnia et al., 2023) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آگاهی از تعامل ژنتیکی می‌تواند به به‌نژادگران گیاهی کمک کند تا هزینه ارزیابی ژنوتیپ‌ها را از طریق حذف مکان‌های آزمایش غیرضروری کاهش دهند (Gauch et al., 2008). در مطالعه پیش رو از بای‌پلات GGE، جهت ارزیابی ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط آبیاری نرمال و محدود استفاده شده است، تا با در نظر گرفتن روابط بین محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شوند.

## مواد روش‌ها

در این تحقیق ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان؛ تهیه شده از مراکز تحقیقاتی مختلف جهان (جدول ۱)، در دو آزمایش جداگانه؛ آبیاری نرمال و محدود (تنش خشکی)، در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ در روستای قزلجه شهرستان سلماس با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی طی دو سال (سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) کشت شدند. روستای قزلجه با توجه به گزارشات آب و هوایی، دارای میزان متوسط بارندگی سالانه ۳۸۸ میلی‌متر و میانگین

1. Additive main effect and multiplicative interaction  
2. Shifted multiplicative model

ادامه یافت. در آزمایش آبیاری محدود، از مرحله ۸ برگی به بعد، آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. تعداد ۱۳ صفت شامل ارتفاع بوته (PH, cm)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL, cm)، عرض برگ (LW, cm)، طول دمبرگ (PL, cm)، قطر ساقه (SD, cm)، کلروفیل (Ch)، روز تا گلدهی (DF, day)، روز تا رسیدگی (DM, day)، قطر طبق (HD, cm)، محتوای آب نسبی (% RWC)، محتوای روغن دانه (% Oil)، و عملکرد (Yield, gr) در هر یک از کرت‌های زراعی در هر تکرار اندازه‌گیری شد (جدول ضمیمه A).

### تجزیه‌های آماری

تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.4 انجام گرفت (برنامه تجزیه در ضمیمه B ارائه شده است). تجزیه و تحلیل بای‌پلات GGE با استفاده از برنامه metan در نرم‌افزار R انجام گرفت.

دمای سالیانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (<http://en.climate-data.org/location/1784/>). کشت در خطوط به طول پنج متر با فاصله ۶۰ سانتیمتر از هم انجام گرفت. فاصله بین بوته‌ها روی خطوط کشت ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. در هر دو سال، تا مرحله ۸ برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش آبیاری نرمال و آبیاری محدود بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. در این شرایط آبیاری، نیاز آبی گیاه تأمین می‌گردد، به نحوی که آب خاک نیاز تبخیر و تعرق گیاه را تأمین و گیاه با محدودیت آبی مواجه نمی‌گردد. در این شرایط گیاه شادابی خود را حذف و علایم مورفولوژیکی چون تیرگی رنگ برگ‌ها را نشان نمی‌دهد؛ چرا که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بوده و به راحتی قابل دسترس گیاه می‌باشد و نیاز به صرف انرژی بیشتر و استفاده از مکانیزم‌های دفاعی در راستای حفظ ظرفیت یا پتانسیل آب در گیاه نیست. از مرحله ۸ برگی آبیاری آزمایش آبیاری نرمال تا انتهای فصل رشد به همین منوال

جدول ۱۰. مشخصات ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد مطالعه

کد	نام مرکز تحقیقاتی	نام لاین	کد	نام مرکز تحقیقاتی	نام لاین
۱	ASGROW	H100A/83HR4	۵۱	ASGROW	H250A/83HR4
۲	ASGROW	H209A/LC1064	۵۲	USDA	RHA265
۳	ASGROW	H205A/H543R	۵۳	USDA	PM1-3
۴	ENSAT	AS5306	۵۴	RUSTICA	RT948
۵	USDA	RHA858	۵۵	-	283-ENSAT
۶	ASGROW	H209A/83HR4	۵۶	INRAMONT	QHP-1
۷	ENSAT	AS3211	۵۷	USDA	SDR19
۸	ENSAT	254-ENSAT	۵۸	USDA	HA337B
۹	ASGROW	AS5304	۵۹	ASGROW	H100B
۱۰	ENSAT	1009329.2(100K)	۶۰	-	B454/03
۱۱	ENSAT	270-ENSAT	۶۱	USDA	HA304
۱۲	ASGROW	AS613	۶۲	RUSTICA	RT931
۱۳	NOVARTIS	A-FLPOPA	۶۳	USDA	HA335B
۱۴	INRAMONT	OES	۶۴	NOVARTIS	NS_B5
۱۵	ASGROW	H100A/LC1064	۶۵	USDA	SDB3
۱۶	USDA	RHA266	۶۶	ASGROW	LC1064C
۱۷	ENSAT	PAC2	۶۷	NOVARTIS	NS-R5
۱۸	ASGROW	H157/LC1064	۶۸	USDA	DM-2
۱۹	BRN	5DES20QR	۶۹	ASGROW	H156A/RHA274
۲۰	ENSAT	15038	۷۰	USDA	SDB1
۲۱	ENSAT	1009337(100K)	۷۱	USDA	HAR-4
۲۲	ASGROW	AS3232	۷۲	ASGROW	AS5305
۲۳	ASGROW	12AASB3	۷۳	RHA274	
۲۴	ASGROW	8ASB2	۷۴	ASGROW	H158A/H543R
۲۵	Caussade semences	9CSA3	۷۵	ASGROW	H100A/RHA274
۲۶		H049+FSB	۷۶	ASGROW	H209A/H566R

## ادامه جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد مطالعه

کد	نام مرکز تحقیقاتی	نام لاین	کد	نام مرکز تحقیقاتی	نام لاین
۲۷	ASGROW	SSD-580	۷۷	ENSAT	ASO-1-POP-A
۲۸	ASGROW	5AS-F1/A2*R5AS-29- F1/A2*R2	۷۸	ENSAT	AS6305
۲۹	C.F	7CR1=PRH6	۷۹	NOVARTIS	B-FIPOPB
۳۰	ENSAT	ENSAT699	۸۰	USDA	D34
۳۱	ASGROW	SSD-581	۸۱	ENSAT	CAY
۳۲	INRAMONT	TMB-51	۸۲	SPII	346
۳۳	SPII	11*12	۸۳	NOVARTIS	NS-F <sub>1</sub> -A <sub>5</sub> *R <sub>5</sub>
۳۴	SPII	110	۸۴	SPII	36
۳۵	INRAMONT	H603R	۸۵	SPII	38
۳۶	SPII	4	۸۶	INRAMONT	SDB2
۳۷	ENSAT	703-CHLORINA	۸۷		H158A/LC1064
۳۸	NOVARTIS	NSF <sub>1</sub> -A <sub>4</sub> *R <sub>5</sub>	۸۸	ASGROW	H156A/H543R
۳۹	SPII	28	۸۹	ASGROW	H543R/H543R
۴۰	SPII	30	۹۰	-	H543R
۴۱		F1250/03	۹۱	ENSAT	SF076
۴۲	USDA	SDR18	۹۲		B-FIPOPB
۴۳	ENSAT	LP-SCYB	۹۳	ENSAT	SF085
۴۴	IFVC	803-1	۹۴	-	SF092
۴۵	ENSAT	1009370-1(100K)	۹۵		A-CONTROLPLASTIPIC
۴۶	Caussade semences	CSWW2S	۹۶	SPII	59-1
۴۷	ENSAT	1009370-3(100K)	۹۷		H-100A-90RL8
۴۸	ASGROW	H158A/H543R	۹۸	ENSAT	SF109
۴۹	ASGROW	H100A	۹۹	ENSAT	SF105
۵۰	ASGROW	15031	۱۰۰	-	SF-023

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) بین ژنوتیپ‌ها در رابطه با اکثر صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اثر اصلی محیط و اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در رابطه با برخی از صفات مانند ارتفاع بوته، محتوای روغن و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). ضریب تغییرات در جدول تجزیه واریانس برای تمامی صفات به غیر از عملکرد در محدوده ۱/۶۹ تا ۱۷/۱۰ (پایین‌تر از ۲۵) متغیر بود. ضریب تغییرات بالا برای عملکرد می‌تواند ناشی از پلی‌ژنیک بودن صفت و تاثیر تغییرات محیطی باشد. در رابطه با صفات کمی (پلی‌ژنیک) در تعدادی از مطالعات ضریب تغییرات بزرگتر از ۳۰ مشاهده شده است (Morsali, 2019). بنابراین جهت معرفی ژنوتیپ پایدار از تجزیه بای‌پلات GGE استفاده شد؛ زیرا مقایسه میانگین‌ها به تنهایی نمی‌تواند در انتخاب ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا مؤثر واقع شود.

در تجزیه و تحلیل بای‌پلات GGE همراستا با شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر محیط و ارزیابی پایداری آنها، امکان ارزیابی قدرت تمایز محیط نیز فراهم می‌شود (Sharma *et al.*, 2020). در این پژوهش ۸۴/۶۵ درصد از کل تغییرات مشاهده، توسط دو مؤلفه اول توجیه می‌شود؛ به طوری که مؤلفه اصلی اول ۵۷/۰۹ درصد و مؤلفه اصلی دوم ۲۷/۵۶ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌نمایند. طول بردارهای محیط متناسب با انحراف استاندارد در هر محیط بای‌پلات است و توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Yan & Tinke, 2006). محیط Y2N (سال دوم-آبیاری نرمال) از قدرت تمایز بیشتری برخوردار بود (شکل ۱a)؛ در این محیط ژنوتیپ‌ها کامل از هم متمایز شدند. اما در محیط‌های Y2D (سال دوم-آبیاری محدود)، Y1D (سال اول-آبیاری محدود)، Y1N (سال اول-آبیاری نرمال) ژنوتیپ‌ها نزدیک به مرکز متراکم شده و تمایز زیادی نشان ندادند.

**جدول ۲.** برآورد آماره F برای اثرات ثابت در تجزیه واریانس مرکب لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری معمول و محدود طی دو سال زراعی

SD	PL	LW	LL	LN	PH	df	منابع تغییر
۲/۲۱***	۲/۳۸***	۲/۰۴***	۲/۵۸***	۲/۰۷***	۳/۳۴***	۹۹	ژنوتیپ
۱۷/۸۴ <sup>ns</sup>	۴/۰۱ <sup>ns</sup>	۲۴/۲۶ <sup>ns</sup>	۹۱/۴۶***	۰/۷۳ <sup>ns</sup>	۳/۵۷ <sup>ns</sup>	۱	محیط
۱/۲۵ <sup>ns</sup>	۱/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۹۸ <sup>ns</sup>	۱/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۹۶ <sup>ns</sup>	۱/۶۳***	۹۹	محیط × ژنوتیپ

ns, \*\*, \*\*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد. ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، عرض برگ (LW)، طول دمبرگ (PL)، قطر ساقه (SD)، کلروفیل (Ch)، روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DM)، قطر طبق (HD)، محتوای آب نسبی (RWC)، محتوای روغن (Oil) و عملکرد (Yield)

**ادامه جدول ۲.** برآورد آماره F برای اثرات ثابت در تجزیه واریانس مرکب لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری معمول و محدود طی دو سال زراعی

Yield	Oil	RWC	HD	DM	DF	Ch	df	منابع تغییر
۱/۷۶***	۷/۷۰***	۱/۲۴ <sup>ns</sup>	۱/۱۳ <sup>ns</sup>	۳/۶۹***	۳/۶۸***	۲/۸۳***	۹۹	ژنوتیپ
۷/۱۸ <sup>ns</sup>	۳۴/۲۳ <sup>ns</sup>	۱۱/۷۴*	۴۲/۷۳***	۷۹/۷۸*	۱۳۰/۹۶***	۱/۲۷ <sup>ns</sup>	۱	محیط
۱/۴۴***	۲/۴۶***	۰/۹۹ <sup>ns</sup>	۰/۹۱ <sup>ns</sup>	۱/۰۳ <sup>ns</sup>	۱/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	۹۹	محیط × ژنوتیپ

ns, \*\*, \*\*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد. ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، عرض برگ (LW)، طول دمبرگ (PL)، قطر ساقه (SD)، کلروفیل (Ch)، روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DM)، قطر طبق (HD)، محتوای آب نسبی (RWC)، محتوای روغن (Oil) و عملکرد (Yield)

**جدول ۳.** برآورد واریانس اثرات تصادفی در تجزیه واریانس مرکب لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری نرمال و محدود طی دو سال زراعی

SD	PL	LW	LL	LN	PH	df	منابع تغییر
۰/۶۴	۰/۴۴	۳/۰۵	۳/۰۸	۱۰/۷۰	۱۴۶/۶۹		سال
۰/۰۱۲	۱/۶۷	۰/۲۳	۰	۱/۱۸	۱۷/۶۵		محیط × سال
۰/۰۱۰	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۴۰		تکرار (محیط × سال)
۰/۵۶	۰/۲۴	۰/۷۳	۰/۷۹	۲/۱۷	۶۸/۷۸		بلوک (سال × محیط × تکرار)
۰/۱۱	۰/۱۹	۱/۲۳	۱/۰۸	۲/۶۷	۴۶/۸۳		سال × ژنوتیپ
۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۸۷۷	۰/۴۸	۱/۵۸	۷/۴۲		محیط × سال × ژنوتیپ
۰/۴۳	۱/۵۳	۴/۸۴	۳/۷۳	۷/۵۸	۱۰۹/۴۷		اشتباه آزمایش
۱۴/۷۸	۱۵/۵۱	۱۷/۱۰	۱۲/۶۷	۱۶/۶۵	۱۰/۰۵		ضریب تغییرات

ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، عرض برگ (LW)، طول دمبرگ (PL)، قطر ساقه (SD)

**ادامه جدول ۳.** برآورد واریانس اثرات تصادفی در تجزیه واریانس مرکب لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری نرمال و محدود طی دو سال زراعی

Yield	Oil	RWC	HD	DM	DF	Ch	df	منابع تغییر
۰	۲/۴۱	۲۸/۴۲	۲/۲۳	۰	۹/۲۳	۰/۰۲۳		سال
۱۳/۵۶	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۹	۰	۱/۹۶		محیط × سال
۸۰/۹۹	۰/۰۳۹	۱۱/۸۲	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۱۹	۰		تکرار (محیط × سال)
۲۱/۲۸	۰/۰۳	۸/۳۳	۰/۶۹	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۶۲		بلوک (سال × محیط × تکرار)
۵۴/۹۱	۰/۰۷	۰	۲/۸۶	۴/۱۵	۱/۴۱	۰		سال × ژنوتیپ
۰	۰/۱۸	۸۵/۷۱	۲/۳۰	۰/۰۰۶	۰	۰		محیط × سال × ژنوتیپ
۳۰۷/۸۴	۰/۶۲	۸۵/۷۲	۲/۴۶	۱۷/۸۱	۱۳/۵۷	۲۲/۳۰		اشتباه آزمایش
۵۵/۳۴	۱/۶۹	۱۳/۸۶	۱۳/۱۸	۴/۰۲	۵/۱۱	۱۱/۹۷		ضریب تغییرات

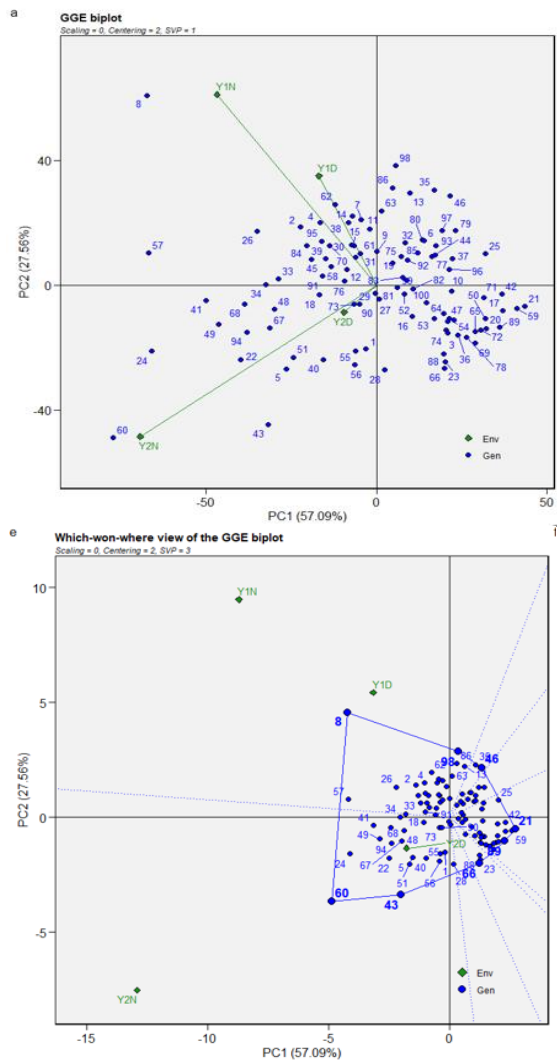
کلروفیل (Ch)، روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DM)، قطر طبق (HD)، محتوای آب نسبی (RWC)، محتوای روغن (Oil) و عملکرد (Yield)

(AS3232)، ۷۳ (RHA274) و ۹۰ (H543R) در محیط Y2N (سال دوم-آبیاری نرمال) و ژنوتیپ‌های ۷۳ (RHA274) و ۹۰ (H543R) برای محیط Y2D (سال دوم-آبیاری محدود) از سازگاری بالا برخوردار هستند.

بای پلات چند ضلعی "Which-won-where" جزء کلیدی تجزیه و تحلیل GGE است. این نوع بای پلات با فراهم کردن تجسمی الگوهای تعامل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، اثرات متقاطع GEI را نشان داده و به تمایز مگا-محیط و سازگاری خاص

ژنوتیپ‌های نزدیک به هر محیط با آن محیط ارتباط مثبت دارند؛ در حقیقت هر چه فاصله مشاهده شده بین ژنوتیپ و نشانگر محیطی (بردار) کمتر باشد، ژنوتیپ به شدت مرتبط با آن محیط بوده در واقع سازگار به آن محیط است (Silva & Benin, 2012). بر این اساس ژنوتیپ ۴ (AS5306)، ۳۱ (SSD-581) و ۳۰ (ENSAT699) برای محیط Y1N (سال اول-آبیاری نرمال)، ژنوتیپ ۶۲ (RT931)، ۶۱ (HA304)، ۱۴ (OES) و ۱۵ (H100A/LC1064) برای محیط Y1D (سال اول-آبیاری محدود)، ژنوتیپ‌های ۶۰ (B454/03)، ۲۲

(LC1064C)، ناحیه چهار با ژنوتیپ رأسی ۲۳ (12AASB3)، ناحیه پنج با ژنوتیپ رأسی ۸۹ (H543R/H543R)، ناحیه شش با دو ژنوتیپ رأسی ۵۹ (H100B) و ۲۱ (1009337(100K))، ناحیه هفت بدون ژنوتیپ رأسی و ناحیه هشت با ژنوتیپ رأسی ۴۶ (CSWW2S)، هیچ محیطی قرار نداشت؛ بنابراین ژنوتیپ‌های رأسی فوق و ژنوتیپ‌های واقع در ناحیه مربوط به آنها مناسب برای هیچ یک از محیط‌های مورد ارزیابی نیستند. در این بای‌پلات ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT) در میان تمام ژنوتیپ‌ها از عملکرد بالا برخوردار است. تمام ژنوتیپ‌های نزدیک به مرکز از عملکرد پایدار و پایین در تمام محیط‌ها برخوردار هستند (Yan & Tinke, 2006). بنابراین با توجه به عملکرد پایین مطلوب برای فعالیت‌های به‌نژادی نمی‌باشند.

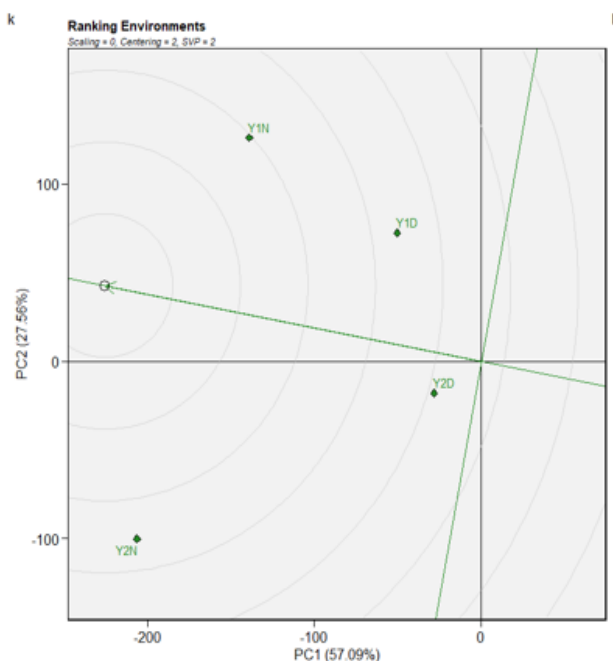
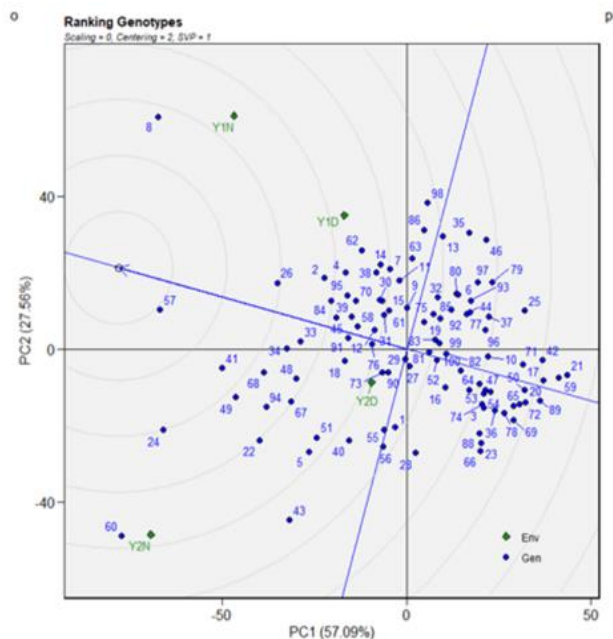


**شکل ۱.** بای‌پلات GGE با اثرات دو جزء اصلی اول PC1 در مقابل PC2 برای ۱۰۰ ژنوتیپ ارزیابی شده در ۴ محیط (a). بای‌پلات چند ضلعی برای داده‌های مربوط به ۱۰۰ ژنوتیپ در ۴ محیط (e).

کمک می‌کند (Yan & Tinke, 2006; Rakshit *et al.*, 2014; Oral *et al.*, 2018). در این بای‌پلات ژنوتیپ‌های ۸ (254-ENSAT)، ۶۰ (B454/03)، ۴۳ (LP-SCYB)، ۹۸ (SF109)، ۴۶ (CSWW2S)، ۲۱ (1009337(100K))، ۸۹ (LC1064C) و ۸۹ (H543R/H543R) همگی در بیشترین فاصله از مبدأ بای‌پلات و در رأس‌های چند ضلعی (شکل ۱e) قرار دارند؛ که نشان از تمایز و برجسته بودن این ژنوتیپ‌ها از دیگر ژنوتیپ‌های حاضر در این چند ضلعی است. هر یک از ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس در واقع تداعی کننده یا نماینده ژنوتیپ‌های واقع در ناحیه خود هستند؛ اما نسبت به همه آنها برتر می‌باشند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس بر حسب شرایط عملکردشان نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های واقع در آن ناحیه، که از اتصال خط منشا گرفته از مبدأ مختصات بر اضلاع چند ضلعی حاصل شده، ژنوتیپ برجسته در آن محیط هستند (Yan & Tinke, 2006).

بای‌پلات چند ضلعی، به هشت ناحیه متمایز تقسیم شد که در رأس هر ناحیه یک یا دو ژنوتیپ رأسی قرار دارد. ناحیه اول شامل دو ژنوتیپ رأسی ۸ (254-ENSAT) و ۹۸ (SF109) می‌باشد و دو محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) و Y1D (سال اول - آبیاری محدود) در این ناحیه قرار دارند، که نشان دهنده سازگاری ژنوتیپ‌های واقع در ناحیه اول به دو محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) و Y1D (سال اول - آبیاری محدود) است. ژنوتیپ رأسی که بیشترین فاصله را از مبدأ مختصات دارد سازگارترین ژنوتیپ محسوب می‌گردد (Yan *et al.*, 2000)؛ بر این اساس ژنوتیپ رأسی ۸ (254-ENSAT) که بیشترین فاصله را از مبدأ مختصات در دو محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) و Y1D (سال اول - آبیاری محدود) دارد سازگارترین ژنوتیپ به این دو محیط است. در این ناحیه، محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) با دارا بودن بیشترین فاصله از مرکز مختصات توانایی بالایی در تمییز ژنوتیپ‌ها دارد. در ناحیه دوم که دو محیط Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) و Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) حضور دارند، دو ژنوتیپ ۶۰ (B454/03) و ۴۳ (LP-SCYB) ژنوتیپ رأسی هستند؛ بنابراین این ژنوتیپ‌ها از بیشترین عملکرد، در محیط‌های فوق برخوردار بودند. در این ناحیه، محیط Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) در دورترین فاصله نسبت به مرکز مختصات قرار دارد؛ بنابراین در ناحیه مذکور محیط Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) با توانایی بالایی ژنوتیپ‌ها را تمییز می‌کند. در شش ناحیه باقی مانده شامل ناحیه سه با ژنوتیپ رأسی ۶۶

(*et al.*, 2014). بنابراین، ژنوتیپ سازگار با یک محیط خاص را می‌توان به راحتی با استفاده از این نوع نمایش گرافیکی توصیف کرد (Plavsin *et al.*, 2021). محیط Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) با دارا بودن بیشترین فاصله یا بلندترین بردار از مرکز مختصات و محیط Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) با کمترین فاصله از مرکز مختصات به ترتیب بیشترین و کمترین توان تمایزدهی بین ژنوتیپ‌ها را دارا می‌باشند.



شکل ۲. بای‌پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل (o)، رتبه‌بندی محیط‌ها نسبت به محیط ایده‌آل (k)

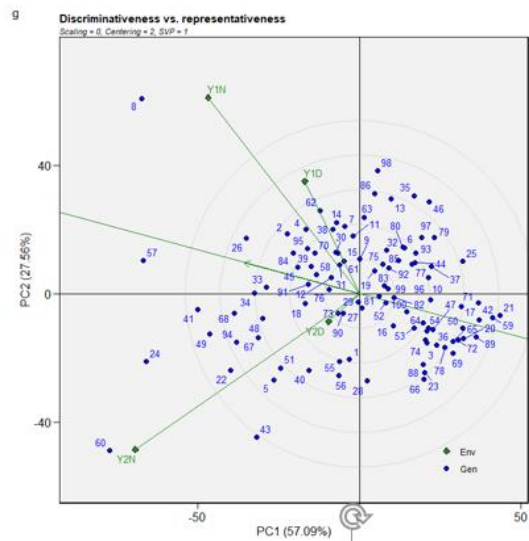
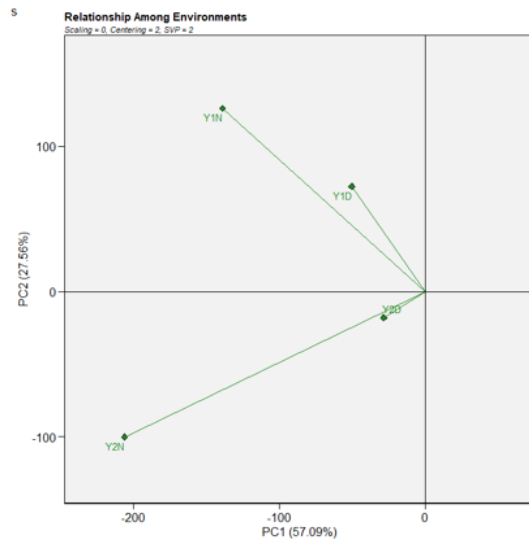
جهت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از معیار ژنوتیپ ایده‌آل که با یک دایره و پیکان بر روی محور افقی ATC مشخص می‌شود، استفاده می‌گردد. ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی است که از هر دو جنبه عملکرد و پایداری بالاست و محور ATC یا تستر متوسط از دو بردار عمود برهم تشکیل شده است. این بردارها از مرکز محور مختصات بای‌پلات می‌گذرند. محور افقی ATC میانگین متغیر وابسته و محور عمودی آن تقریبی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط و شاخصی از تنوع ژنوتیپ‌ها است (Yan & Kang, 2002). بنابراین هر ژنوتیپی در نزدیکترین فاصله روی محور ATC نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشته باشد یا به عبارتی در دورترین فاصله از مبدأ مختصات روی محور ATC قرار گرفته باشد دارای بیشترین عملکرد است. ژنوتیپ‌های با کمترین فاصله عمودی از محور افقی ATC بالاترین پایداری را دارند. بر این مبنا نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپ مطلوب معرفی می‌گردد. بر اساس نتایج بای‌پلات و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل (شکل ۲o)، ژنوتیپ‌های ۵۷ (SDR19)، ۴۱ (F1250/03)، ۸ (254-ENSAT)، ۲۴ (8ASB2) و ۲۶ (H049+FSB) بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۶۶ (LC106)، ۸۸ (H156A/H543R)، ۲۳ (12AASB3) و ۳۶ (4) بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و عملکرد با توجه به ژنوتیپ ایده‌آل هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های ۶۶ (LC106)، ۸۸ (H156A/H543R)، ۲۳ (12AASB3) و ۳۶ (4) در مراحل اول گزینش حذف می‌شوند (Yan & Kang, 2003).

در رتبه‌بندی محیط‌ها نیز محیط ایده‌آل با یک دایره و پیکان مشخص می‌شود. محیطی مطلوب است که در نزدیکترین فاصله به محیط ایده‌آل قرار گیرد. رتبه‌بندی محیط‌ها براساس محیط ایده‌آل نیز حاکی از آن بود که محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) بهترین محیط در میان چهار محیط با توجه به محیط ایده‌آل است (شکل ۲k). بای‌پلات رابطه بین محیط‌ها به منظور بررسی ارتباط محیط‌ها باهم و شناسایی محیط با بیشترین توان تمایز استفاده می‌شوند. نتایج بای‌پلات نشان از وجود همبستگی مثبت بین همه محیط‌ها دارد؛ بیشترین و قوی‌ترین همبستگی مثبت بین محیط‌های Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) با Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) مشاهده شد (شکل ۲s).

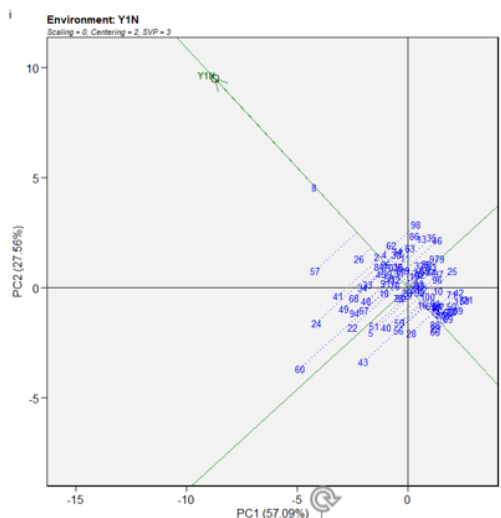
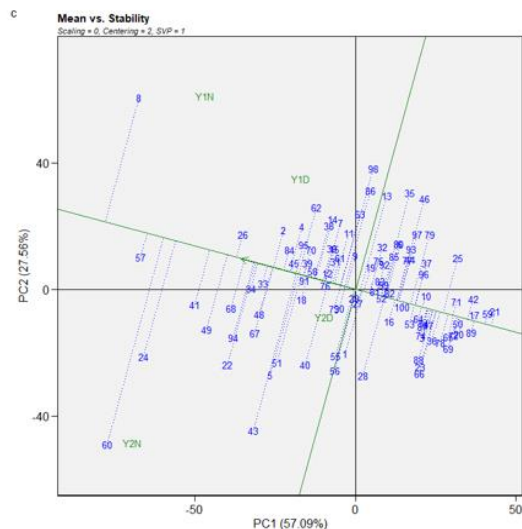
دو پلات "تبعیض در مقابل نمایندگی" ابزاری مؤثر برای تعریف بهترین محیط برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها است (Frutos



عملکرد و ثبات عملکرد ژنوتیپ‌ها فراهم کرده است (شکل ۲ و ۳). با توجه به نمای گرافیکی شکل ۴c بیشترین عملکرد و پایداری در محیط‌های Y1D (سال اول - آبیاری محدود) و Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) مربوط به ژنوتیپ ۲۶ (H049+FSB) و در محیط Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) و Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) مربوط به ژنوتیپ ۵۷ (SDR19) بود. استفاده از GGE برای معرفی ژنوتیپ‌های مناسب آفتابگردان برای کشت بر حسب پایداری و عملکرد، مطلوب ارزیابی شده است (Ghaffari *et al.*, 2022; Saremi Rad *et al.*, 2020). این بین ژنوتیپ‌های ۸ (254-ENSAT)، ۵۷ (SDR19) و ۲۶ (H049+FSB) در محیط (Y1N) (سال اول - آبیاری نرمال) از برتریت برخوردار هستند (شکل ۴i).



شکل ۳. بای‌پلات رابطه بین محیط‌ها (s)، بای‌پلات رابطه محیط با محور ATC یا قدرت نمایندگی (g)



شکل ۴. بای‌پلات میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ در محیط‌ها (c)، بای‌پلات میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ در محیط منتخب (i)

بر این اساس محیط Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) دارای توان بالا در برآورد کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها است. این محیط با توجه به اطلاعات زیادی که از ژنوتیپ‌ها در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد می‌تواند به عنوان محیط مرجع برای آزمایش ژنوتیپ‌ها باشد. علاوه بر طول بردار محیط، زاویه بین بردار محیط‌ها با بردار ATC نیز تعیین کننده نمایندگی محیط و توان آن در شناسایی ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایدار است. در این نوع از بای‌پلات بردار محیطی که زاویه حاد با بردار ATC دارد و بلندتر می‌باشد از نمایندگی و تمایز بیشتر ژنوتیپ‌ها برخوردار است (Yan *et al.*, 2000). با این ویژگی‌ها محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) دارای توان نمایندگی بیشتری نسبت به دیگر محیط‌ها است (شکل ۳g). این محیط شرایط مناسبی را برای

### نتیجه‌گیری

آبیاری محدود) مشاهده شد. واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های همبسته یکسان بوده؛ بر این اساس ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT) در هر دو محیط Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) و Y1D (سال اول - آبیاری محدود) که بیشترین همبستگی را داشتند ژنوتیپی با بیشترین عملکرد بود. همچنین دو ژنوتیپ ۶۰ (B454/03) و ۴۳ (LP-SCYB) در دو محیط Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) و Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) از بیشترین عملکرد برخوردار بودند. بر اساس نتایج از ژنوتیپ شماره ۸ با عملکرد بالا و پایدار در تمام محیط‌ها می‌توان به عنوان والد در توسعه هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد استفاده از GGE در بهبود تفاسیر و درک روابط بین محیط با ژنوتیپ‌ها همچنین معرفی ژنوتیپ‌های سازگار کارآمد می‌باشد.

استفاده از ساختار گرافیکی علاوه بر سادگی تفسیر و کاهش حجم محاسبات، بر سرعت ارزیابی نیز می‌افزاید و امکان ارزیابی را بین تعداد محدودتری از تیمارها فراهم می‌کند. با توجه به تجمیع اکثر ژنوتیپ‌ها در مرکز نمودار ژنوتیپ‌های فوق در ارزیابی مد نظر قرار نگرفتند؛ چرا که دارای عملکرد پایین ولی پایدار بودند. در واقع برای فعالیت‌های به‌نژادی و گزینش مناسب نیستند. در مقابل ژنوتیپ‌های ۵۷ (SDR19)، ۴۱ (F1250/03)، ۸ (254-ENSAT)، ۲۴ (8ASB2) و ۲۶ (H049+FSB) ژنوتیپ‌های پایدار با بالاترین عملکرد و مطلوب جهت گزینش برای تنش خشکی ارزیابی شدند. بیشترین همبستگی مثبت بین محیط‌های Y2N (سال دوم - آبیاری نرمال) با Y2D (سال دوم - آبیاری محدود) و Y1N (سال اول - آبیاری نرمال) با Y1D (سال اول -

### References

- 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 & Nutrition*, 8(7), 3327-3334.
- Cherinet, A., Abebe, W., Molla, M., Tazebachew, A., Desalew, F., Esmelealem, M., & Jemal, E. (2016). GGE stability analysis of seed yield in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.) in Western Amhara region, Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 10(2), 104-109.
- Crossa, J., Franco, J. & Edmeades, G.O. (1996). Experimental designs and the analysis of multilocation trials of maize grown under drought stress. *CIMMYT*, 524-536.
- Cornelius, P.L., Crossa, J., and Seyedasdr, M.S., 1996. Statistical tests and estimates of multiplicative models for GE interaction. In: kang, M.S. & H.G. Jr. Gauch (Eds.). *Genotype-by- Environment Interaction*. (pp.199-234). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Eberhart, S.T. & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40.
- Enyew, M., Feyissa, T., Geleta M., Tesfaye, K., Hammenhag, C. & Carlsson, A.S. (2021). Genotype by environment interaction, correlation, AMMI, GGE biplot and cluster analysis for grain yield and other agronomic traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *PLoS ONE*, 16(10): e0258211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258211>.
- Frutos, E., Galindo, M.P. & Leiva, V. (2014). Interactive biplot implementation in R for modeling genotype-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(7), 1629-1641.
- Gauch, H. Jr. (1992). *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs: Elsevier Science Publishers*.
- Gauch, H.G. & Zobel, R.W. (1996). *AMMI analysis of yield trials*, 85-122 pp. In: Kang, M.S., Gauch, H.G. (eds.) *Genotype by environment interaction*, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton.
- Gauch, H.G., Piepho, H.P. & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, 48, 866-89. <https://doi.org/10.2135/crops.ci2007.09.0513>.
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S.A., Siahbidi, A.Z., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F. & Rezaeizad, A. (2022). Graphic analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction on the seed yield of sunflower. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), 65-75. (in Persian).
- Hussain Shah, M., Rauf, S., Nazir, S., Ortiz, R., Naveed, A. & Fatima, S. (2023). Stability analyses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids for oleic acid and yield traits under multi location trials in Pakistan. *Italian Journal of Agronomy*, 18, 2079.

- Jamshidmoghammad, M. & Pourdad, S.S. (2013). Genotype× environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, 190(3), 357–69.
- Mądry, W., Talbot, M., Ukalski, K., Drzazga, T. & Iwańska, M. (2006). Podstawy teoretyczne znaczenia efektów genotypowych i interakcyjnych w hodowli roślin na przykładzie pszenicy ozimej. *Biul. IHAR*, 240(241), 13–32. (in Polish).
- Morsali Aghajari, F., Darvishzadeh, R., Hatami Maleki, H., Gholinezhad, E. & Kalantar, A. (2019). Selection of salinity tolerant lines of sunflower using some physiological characteristics. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), 185-195. (in Persian).
- Musa-Khalifani, K., Darvishzadeh, R., Abrinbana, M. & Hadi, Alipour, H. (2021). Unraveling genotype-isolate interaction in sunflower (*Helianthus annuus* L.)- Sclerotinia pathosystem using GGE biplot method. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 11(1), 109-121.
- Khalifani, S., Darvishzadeh, R., Azad, N. & Seyed Rahmani, R. (2022). Prediction of sunflower grain yield under normal and salinity stress by RBF, MLP and, CNN models. *Industrial Crops & Products*, 189, 115762.
- Olanrewaju, O.S., Oyatomi, O., Babalola, O.O. & Abberton, M. (2021). GGE Biplot Analysis of Genotype-Environment Interaction and Yield Stability in Bambara Groundnut. *Agronomy*, 11, 1839. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091839>.
- Oral, E., Kendal, E. & Dogan, Y. (2018). Oral E, Kendal E, Dogan Y (2018). Selection the best barley genotypes to multi and special environments by AMMI and GGE biplot models. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(7), 5179-5187.
- Plavsin, I., Gunjaca, J., Simek, R. & Novoselovic, D. (2021). Capturing GEI patterns for quality traits in biparental wheat populations. *Agronomy*, 11(6), 1022.
- Rakshit, S., Ganapathy, K.N., Gomashe, S.S., Swapna, M., More, A., Gadakh, S.R., Ghorade, R.B., Kajjidoni, S.T., Solanki, B.G., Biradar, B.D. & Prabhakar, A. (2014). GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in rabi grain sorghum [*Sorghum bicolor* (*Sorghum bicolor* L.) Moench]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 74(4s), 558-563.
- Rauf, S. (2019). *Breeding strategies for sunflower (Helianthus annuus L.) genetic improvement*. In: Al-Khayri J, Jain S, Johnson D (eds). *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops Cham, Springer*, 637-73.
- 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(34), 43-53. (in Persian).
- Saeidnia, F., Taherian, M. & Nazeri, S.M. (2023). Graphical analysis of multi-environmental trials for wheat grain yield based on GGE-biplot analysis under diverse sowing dates. *BMC Plant Biology*, 23: 198.
- Sharma, S.P., Leskovar, D.I., Crosby, K.M. & Ibrahim, A. (2020). GGE biplot analysis of genotype-by-environment interactions for melon fruit yield and quality traits. *American Society for Horticultural Science*, 1, 1–10.
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B.S., Singh, G., Chatrath, R. & Singh, G.P. (2019). Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19(3), 309 -318.
- Silva, R.R. & Benin, G. (2012). Biplot analysis: concepts, interpretations and uses. *Ciência Rural*, 42(8), 1404-1412.
- Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q. & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605.
- Yan, W. (2001). GGE biplot - a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93, 1111-1118.
- Yan, W., & Kang, M.S. (2002). *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>.
- Yan, W. & Tinker, N.A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645.
- Yasar, M., Çil, A.N. & Çil, A. (2023). Investigation of Genotype × environment interaction in some sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes in different environmental conditions. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(1), 41-55. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7642289>
- Xu, Y., Zhang, X., Li, H., Zheng, H., Zhang, J., Olsen, M.S., Varshney, R.K., Prasanna, B.M. & Qian Qian, Q. (2022). Smart breeding driven by big data, artificial intelligence, and integrated genomic-enviromic prediction. *Molecular Plant*, 15(11), 1664-1695.

## ضمیمه A

جدول تکمیلی ۱. نام کامل ۱۳ صفت مورد بررسی در آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

ردیف	صفت	نام انگلیسی صفت
۱	ارتفاع بوته	Plant height
۲	تعداد برگ	Number of leaf
۳	طول برگ	Leaf length
۴	عرض برگ	Leaf width
۵	طول دم‌برگ	Petiole length
۶	قطر ساقه	Stem diameter
۷	قطر طبق	Head diameter
۸	کلروفیل	Chlorophyll
۹	روز تا گلدهی	Day to flowering
۱۰	روز تا رسیدگی	Day to maturity
۱۱	محتوای آب نسبی	Relative water content
۱۲	درصد روغن	Oil percentage
۱۳	عملکرد دانه	Seed yield

## ضمیمه B

فرمان استفاده شده در نرم افزار SAS جهت تجزیه مرکب داده‌ها

```
Data A;
Input Year Condition$ Rep Block Entry X;
Cards;
...
;
Ods Rtf;
Proc Print;
Run;
%Include 'C:\Mult.Sas';
Ods Output Diffs=Diffs Lsmeans=Lsmeans;
Proc Mixed Data=A;
Class Year Condition Rep Block Entry;
Model X=Condition|Entry/Ddfm=Kr;
Random Year Year*Condition Rep(Year*Condition) Block(Year*Condition*Rep) Entry*Year
Entry*Year*Condition;
Repeated /Group=Year*Condition Type=Un;
Lsmeans Entry*Condition/Slice=Condition Pdiff Adjust=Tukey;
%Mult (Trt=Entry, By=Condition, Alpha=0.05);
Run;
Ods Rtf Close;
```