



## Evaluation of Oilseed Sunflower Genotypes Using the Genotype-Trait Biplot under Normal and Limited Irrigation Conditions

Nasrin Akbari <sup>1</sup> | Reza Darvishzaeh <sup>2✉</sup>

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [r.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**

Research Article

**Article history:**

Received: September 21, 2023

Received in revised form:

October 14, 2023

Accepted: October 24, 2023

Published online: March 20, 2024

**Keywords:**

Biplot,

GT-biplot,

seed yield,

stability analysis,

sunflower.

### ABSTRACT

Considering the speed of environmental changes and the extent of the data obtained from breeding evaluations, there is a need to employ fast and reliable data analysis methods. Biplot graphical methods greatly contribute to the advancement of breeding programs by offering the possibility of quick, comprehensive, and accurate analysis of information, along with easy interpretation of the results. A number of 100 oilseed sunflower genotypes were evaluated in terms of plant height, number of leaves, leaf length, leaf width, petiole length, stem diameter, chlorophyll content, days to flowering, days to maturity, head diameter, relative water content, seed oil percentage, and seed yield in the form of simple 10 x 10 lattice design under normal and limited irrigation conditions during 2012 and 2013. To identify the superior genotypes in each irrigation conditions, the genotype-trait biplot analysis method was used. Under both irrigation conditions, a high correlation was observed between the traits including leaf length, leaf width, stem diameter, head diameter, seed oil percentage, and petiole length with seed yield. In terms of all studied traits under both irrigation conditions, genotype with code number of 8 was the best and genotypes with code numbers of 59, 42, and 72 and genotypes with code numbers of 19, 59, and 17 were the worst genotypes under normal and drought stress conditions, respectively. Based on the results, the traits including stem diameter and head diameter can be used as indirect selection criteria for seed yield improvement under normal and drought stress conditions, respectively.

**Cite this article:** Akbari, N., & Darvishzaeh, R. (2024). Evaluation of oilseed sunflower genotypes using the genotype-trait biplot under normal and limited irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 151-163. Doi: [10.22059/ijfcs.2023.365669.655031](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.365669.655031).



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.365669.655031>



اشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

## ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ-صفت تحت شرایط آبیاری معمول و محدود

نسربین اکبری<sup>۱</sup> | رضا درویش‌زاده<sup>۲</sup> ✉

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

۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [r.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	با توجه به سرعت تغییرات محیطی و وسعت و گستره داده‌های حاصل از ارزیابی‌ها در فعالیتهای به‌نژادی، ضرورت بکارگیری روش‌های تجزیه سریع و مطمئن داده‌ها بیش از پیش مورد توجه است. روش‌های گرافیکی بای‌پلات با فراهم کردن امکان تجزیه سریع، جامع و دقیق اطلاعات، به‌همراه تفسیر راحت نتایج، کمک شایانی به پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی می‌کنند. در این تحقیق، تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی تحت دو شرایط آبیاری معمول و محدود در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ طی دو سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، محتوی کلروفیل، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، قطر طبق، محتوای نسبی آب، درصد روغن دانه، و عملکرد ارزیابی شدند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر یک از شرایط آبیاری از روش تحلیل بای‌پلات ژنوتیپ-صفت استفاده شد. تحت هر دو شرایط آبیاری بین صفات طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه، قطر طبق، محتوای روغن دانه و طول دمبرگ با عملکرد دانه همبستگی بالایی مشاهده شد. از نظر جمیع صفات مورد مطالعه تحت هر دو شرایط آبیاری، ژنوتیپ شماره ۸ به عنوان بهترین و ژنوتیپ‌های شماره ۴۲، ۵۹، ۷۲ و ۷۳ تحت شرایط آبیاری معمول و ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۵۹ و ۱۷ تحت شرایط آبیاری محدود بدترین ژنوتیپ‌ها بودند. به‌منظور انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد تحت شرایط آبیاری معمول، از صفت قطر ساقه و تحت شرایط آبیاری محدود از صفت قطر طبق می‌توان استفاده کرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱	
<b>کلیدواژه‌ها:</b> آفتابگردان، بای‌پلات، تجزیه پایداری، GT Biplot، عملکرد دانه.	

**استناد:** اکبری، ن.، و درویش‌زاده، ر. (۱۴۰۳). ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ-صفت تحت شرایط آبیاری معمول و محدود. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۱(۵۵)، ۱۵۱-۱۶۳. Doi: 10.22059/ijfcs.2023.365669.655031



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

آفتابگردان گیاه دانه روغنی مهم با مصارف متعدد است (Radanović *et al.*, 2018; Rauf, 2019; Fernandez *et al.*, 2019). روغن آن با توجه به غنای اسیدهای چرب غیر اشباع و توکوفرول به‌عنوان سالم‌ترین روغن در رژیم غذایی جایگاه ویژه‌ای دارد (Rauf *et al.*, 2017, 2020). با توجه به تغییرات اقلیمی و گسترش مناطقی که با تنش‌های کم‌آبی و شوری مواجه هستند، پیش‌بینی می‌شود سطح زیر کشت آفتابگردان که واکنش نسبتاً متحمل (نیمه‌متحمل) به تنش‌های فوق‌نشان می‌دهد، به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (Dufresne *et al.*, 2006; Shi *et al.*, 2023). بنابراین، تولید و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل پرمحصول و پایدار هدف اصلی برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود (Alizadeh *et al.*, 2021). موفقیت هر برنامه به‌نژادی به توانایی به‌نژادگر در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای صفات متعدد به‌طور همزمان بستگی دارد. بای‌پلات ژنوتیپ-صفت، یک برنامه کاربردی از تکنیک بای‌پلات GGE است. از این بای‌پلات برای بررسی ژنوتیپ‌ها بر اساس داده‌های صفات استفاده می‌شود؛ به‌طوری‌که انتخاب بر اساس چندین صفت با بالاترین بازده و موفقیت همراه باشد (Koc *et al.*, 2018; Shojaei *et al.*, 2022). این نوع از بای‌پلات اولین بار توسط یان معرفی شد (Yan, 2001). بای‌پلات ژنوتیپ-صفت (Genotype-Trait; GT) یک راهنمای گرافیکی مفیدی برای مطالعه و گزینش برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب صفات مختلف است (Motamedi & Safari, 2019). با GT هم رابطه بین صفات و هم رابطه بین ژنوتیپ‌ها قابل بررسی است. چنین بای‌پلاتی می‌تواند با تجسم همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات، شناسایی ژنوتیپ‌ها و همچنین صفاتی که می‌توان از آنها در انتخاب غیر مستقیم برای بهبود (به‌نژادی) یک صفت خاص استفاده کرد را آسان‌تر کند. استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ × صفت جهت ملموس کردن مزایا و معایب ژنوتیپ‌های خاص نیز پیشنهاد می‌شود؛ این امر هم برای ارزیابی تنوع و هم برای انتخاب والدین مهم است (Yan & Tinker, 2006; Kendal, 2022). بای‌پلات GT جهت ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط مختلف محیطی به‌کار گرفته شده است (Yasar *et al.*, 2023). همچنین از GT برای انتخاب ژنوتیپ‌های باقلا با عملکرد دانه بالا از طریق وزن صد دانه و ارتفاع بوته استفاده شده است (Koc *et al.*, 2018). در مطالعه پیش‌رو از بای‌پلات GT، جهت ارزیابی ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی تحت شرایط آبیاری معمول و محدود استفاده شده است تا با در نظر گرفتن روابط بین صفات، صفات مطلوب برای گزینش و همچنین ژنوتیپ‌های با پاسخ مطلوب از نظر صفات در هر دو شرایط معرفی شوند.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان که از مراکز مختلف تحقیقاتی تهیه شدند (جدول ۱) در قالب طرح لاتیس ساده  $10 \times 10$  در دو شرایط آبیاری معمول و محدود در روستای قزلجه سلماس با موقعیت جغرافیایی  $38^\circ$  درجه و  $11$  دقیقه و  $50^\circ$  ثانیه شمالی و  $44^\circ$  درجه و  $45$  دقیقه و  $55^\circ$  ثانیه شرقی و  $2100$  متر ارتفاع از سطح دریا، در سال‌های  $1392$  و  $1393$  ارزیابی شدند. روستای قزلجه با توجه به گزارش‌های آب و هوایی، دارای میزان متوسط بارندگی سالیانه  $388$  میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه  $10/5$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد (<http://en.climate-data.org/location/1784/>). هر واحد آزمایش از یک خط کاشت به طول پنج متر تشکیل شد و بذور به فواصل  $50$  سانتی‌متر روی خطوط کاشت و با فواصل  $60$  سانتی‌متر بین خطوط کشت شدند. فاصله دو تکرار از هم  $1/5$  متر و فاصله دو آزمایش از هم پنج متر انتخاب شد. در هر دو سال مورد مطالعه، تا مرحله هشت‌برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش (آبیاری معمول و محدود) بعد از  $90$  میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. از مرحله هشت‌برگی آبیاری در آزمایش آبیاری معمول تا انتهای فصل رشد به منوال قبل ادامه یافت. در آزمایش آبیاری محدود، از مرحله هشت‌برگی به بعد، آبیاری بعد از  $180$  میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. در هر کرت زراعی در هر تکرار تعداد  $13$  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, g) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد مطالعه.

Code	Line Name	Country	Code	Line Name	Country	Code	Line Name	Country
1	H100A/83HR4	France	35	H603R	France	69	H156A/RHA274	France
2	H209A/LC1064	France	36	4	Iran	70	SDB1	U.S.A
3	H205A/H543R	France	37	703-CHLORINA	France	71	HAR-4	U.S.A
4	AS5306	France	38	NSF <sub>1</sub> -A <sub>4</sub> *R <sub>5</sub>	France	72	AS5305	France
5	RHA858	U.S.A	39	28	Iran	73	RHA274	U.S.A
6	H209A/83HR4	France	40	30	Iran	74	H158A/H543R	France
7	AS3211	France	41	F1250/03	Hungary	75	H100A/RHA274	France
8	254-ENSAT	France	42	SDR18	U.S.A	76	H209A/H566R	France
9	AS5304	France	43	LP-SCYB	France	77	ASO-1-POP-A	France
10	1009329.2(100K)	France	44	803-1	Serbia	78	AS6305	France
11	270-ENSAT	France	45	1009370-1(100K)	France	79	B-FIPOPB	France
12	AS613	France	46	CSWW2S	France	80	D34	U.S.A
13	A-FLPOPA	France	47	1009370-3(100K)	France	81	CAY	France
14	OES	France	48	H158A/H543R	France	82	346	Iran
15	H100A/LC1064	France	49	H100A	France	83	NS-F <sub>1</sub> -A <sub>5</sub> *R <sub>5</sub>	France
16	RHA266	U.S.A	50	15031	France	84	36	Iran
17	PAC2	France	51	H250A/83HR4	France	85	38	Iran
18	H157/LC1064	France	52	RHA265	U.S.A	86	SDB2	France
19	5DES20QR	France	53	PM1-3		87	H158A/LC1064	
20	15038	France	54	RT948	France	88	H156A/H543R	France
21	1009337(100K)	France	55	283-ENSAT		89	H543R/H543R	France
22	AS3232	France	56	QHP-1		90	H543R	France
23	12AASB3		57	SDR19	U.S.A	91	SF076	France
24	8ASB2		58	HA337B	U.S.A	92	B-FIPOPB	
25	9CSA3		59	H100B	France	93	SF085	France
26	H049+FSB		60	B454/03	Hungary	94	SF092	
27	SSD-580		61	HA304	U.S.A	95	A-CONTROLPLASTI PIC	
28	5AS-F <sub>1</sub> /A <sub>2</sub> *R <sub>5</sub> AS- 29- F <sub>1</sub> /A <sub>2</sub> *R <sub>2</sub>	France	62	RT931	France	96	10-59	Iran
29	7CR1=PRH6	France	63	HA335B	U.S.A	97	H-100A-90RL8	France
30	ENSAT699	France	64	NS_B5	France	98	SF109	
31	SSD-581	France	65	SDB3	U.S.A	99	SF105	France
32	TMB-51	France	66	LC1064C	France	100	SF-023	
33	11*12	Iran	67	NS-R5	France			
34	110	Iran	68	DM-2	U.S.A			

Num: The numerator degrees of freedom; Den: The denominator degrees of freedom.

## ۲-۱. تجزیه‌های آماری

برای تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در قالب مدل آماری طرح پایه از نرم‌افزار SAS 9.4 و اسکریپت زیر استفاده شد.

```
Data A;
Input Year 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 Rep Block Entry;
Model X=Entry/Ddfm=Kr;
Random Year Rep(Block) Entry*Year;
Lsmeans Entry/Pdiff Adjust=Tukey;
%Mult (Trt=Entry);
Run;
Ods Rtf Close;
```

برای تجزیه بای‌پلات GT از مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تصحیح‌شده بر پایه میانگین صفت و استاندارد شده توسط انحراف استاندارد استفاده شد:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j / d_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

در این مدل، مقدار مورد انتظار برای ژنوتیپ  $i$  در ترکیب با صفت  $j$ ،  $\mu$  میانگین کل تمام ترکیب‌های ژنوتیپ  $\times$  صفت؛  $\beta_j$  اثر اصلی صفت  $j$ ؛  $g_{i1}$  و  $e_{1j}$  به ترتیب اثرهای اولیه برای ژنوتیپ  $i$  و صفت  $j$ ؛  $g_{i2}$  و  $e_{2j}$  به ترتیب اثرهای ثانویه برای ژنوتیپ  $i$  و صفت  $j$ ؛  $d_j$  انحراف استاندارد فنوتیپی در صفت  $j$  و  $\varepsilon_{ij}$  عبارت از مقدار باقی‌مانده توجیه‌نشده به وسیله اثرهای اولیه و ثانویه است. بای‌پلات مورد نظر به وسیله رسم  $g_{i1}$  در مقابل  $g_{i2}$  و  $e_{1j}$  در مقابل  $e_{2j}$  در یک نمودار پراکنش ایجاد شد. برای به‌کارگیری معادله فوق از رایج‌ترین روش، یعنی تجزیه به مقادیر منفرد (Singular value decomposition; SVD) استفاده شد:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j / d_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

که در آن  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به ترتیب مقادیر ویژه اولین و دومین مؤلفه اصلی بزرگ (PC1 و PC2) هستند.  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$  به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ  $i$  برای PC1 و PC2 و  $\eta_{1j}$  و  $\eta_{2j}$  به ترتیب بردارهای ویژه صفت  $j$  برای PC1 و PC2 هستند. این روش آماری با جزئیات بیشتر توسط Yan & Kang (2003) و Yan (2014) توصیف شده است. تجزیه و تحلیل GT-Biplot با برنامه metan در نرم‌افزار R انجام گرفت. برای این منظور ماتریس دو طرفه ژنوتیپ-صفت بر اساس میانگین تکرارها در دو سال برای هر یک از شرایط تنظیم و به نرم‌افزار معرفی شد.

## ۳. نتایج پژوهش و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین ژنوتیپ‌های آفتابگردان در هر دو شرایط آبیاری معمول و محدود در رابطه با اغلب صفات مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد که حاکی از تنوع ژنتیکی برای صفات فوق است (جدول ۲، ۳ و ۴).

### ۳-۱. شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه

در تحلیل بای‌پلات ژنوتیپ-صفت در شرایط آبیاری معمول، دو مؤلفه اول در مجموع ۴۹/۹۷٪ از تنوع کل را توجیه می‌کنند؛ از این مقدار ۳۶/۶۸٪ توسط PC1 و ۱۳/۲۹٪ توسط PC2 توجیه می‌شود. این درصد نشان از پیچیدگی روابط بین صفات دارد (Yan & Rajcan, 2002; Sheikh et al., 2022). در شرایط آبیاری محدود، ۶۸/۵۸٪ از تنوع کل؛ ۴۷/۴٪ توسط PC1 و ۲۱/۱۸٪ توسط PC2، توجیه می‌شوند. در نمودارهای چندضلعی، ژنوتیپ‌های واقع در یک بخش که در کنار یک یا چند صفت خاص قرار

دارند، از عملکرد خوبی نسبت به آن صفات برخوردار هستند. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ نمودار قرار می‌گیرند تغییرات آنچنانی در صفات نشان نمی‌دهند (Thomason & Phillips, 2006; Koç *et al.*, 2018)؛ ولی به دلیل دارا بودن سطح متوسط برای تمام صفات از پتانسیل بالقوه برخوردارند (Yan & Fregeau-Reid, 2008). ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس در شرایط نرمال، شامل ژنوتیپ‌های شماره ۸ (254-ENSAT)، ۱۱ (270-ENSAT)، ۲۱ ((1009337(K100))، ۷۲ (AS5305)، ۷۱ (HAR-4)، ۳۹ (ایرانی ۲۸)، ۲۴ (ASB2۸)، ۲۲ (AS3232) و ۶۰ (B454/03) بودند. این ژنوتیپ‌ها به دلیل فاصله طولانی تری که از مبدأ بای‌پلات دارند، در برخی یا همه صفات جزو بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند (شکل ۱).

ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس شامل ژنوتیپ‌های شماره ۸ (254-ENSAT)، ۱۱ (270-ENSAT)، ۲۲ (AS3232) و ۶۰ (B454/03) در اکثر صفات بجز محتوای نسبی آب، محتوای روغن و کلروفیل برترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های موفقی از نظر اکثر صفات به‌ویژه عملکرد به‌شمار می‌روند. در این میان، ژنوتیپ شماره ۸ (254-ENSAT)، به دلیل فاصله طولانی تری که از مبدأ بای‌پلات دارد نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها از واکنش مطلوبتری در صفات فوق برخوردار می‌باشد. تحت شرایط نرمال در ناحیه مربوط به ژنوتیپ‌های رأسی ۷۲ (AS5305)، ۷۱ (HAR-4) و ۳۹ (ایرانی ۲۸) صفت شاخصی قرار نداشت و ژنوتیپ‌های واقع در این ناحیه به‌ویژه ژنوتیپ‌های رأسی فوق از نظر هیچ صفتی دارای برتری خاص نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها نبودند؛ بنابراین در جمیع صفات نامطلوب ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در رأس در شرایط محدودیت آبیاری شامل ژنوتیپ‌های شماره ۸ (۲۵۴-ENSAT)، 10 [1009329(100K)]، 16 (RHA266)، 70 (SDB1)، 35 (H603R)، 84 (ایرانی ۳۶)، ۶ (H209A/83HR4)، 17 (PAC2)، 21 (K100)1009337 (LP-SCYB) 20 43 (۱۵۰۳۸) و ۴ (AS5306) بودند. در این میان، ژنوتیپ شماره ۸ (254-ENSAT)، از نظر صفات کلروفیل، روز تا رسیدگی، روز تا گلدهی، طول دمبرگ، تعداد برگ و ارتفاع بوته مطلوب بود. ژنوتیپ‌های رأسی ۳۵ (H603R) و ۸۴ (ایرانی ۳۶) و سایر ژنوتیپ‌های موجود در ناحیه مربوطه واکنش خوبی از نظر صفت عملکرد و محتوای نسبی آب داشتند (شکل ۱). بنابراین ژنوتیپ‌های رأسی فوق، از نظر صفات عملکرد و محتوای نسبی آب مطلوب‌ترین بودند؛ در حالی که، در ناحیه مربوط به ژنوتیپ‌های رأسی ۱۷ (PAC2)، ۶ (H209A/83HR4)، ۲۰ (15038)، ۴۳ (LP-SCYB)، ۴ (AS5306)، ۲۱ ((1009337(K100)) و ۱۰ ((1009329(K100)) هیچ صفت شاخصی حضور نداشت و ژنوتیپ‌های واقع در این ناحیه از نظر مجموع صفات ضعیف ارزیابی شدند. در مجموع تحت شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT)، از مقادیر بالایی در اکثر صفات برخوردار بود. استفاده از بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ در صفت برای مقایسه، انتخاب ژنوتیپ و در تعیین رابطه بین صفات و ژنوتیپ، در گیاهان متعددی همچون سویا (Yan & Rajcan, 2002)، کلزا (Hosseini, 2016)، ذرت (Shojaei, 2020) باقلا

(Sheikh *et al.*, 2022)، توتون (Porkabiri *et al.*, 2019a; 2019b) و سورگوم (Kaplan *et al.*, 2017) گزارش شده است.

در نمودار بای‌پلات، روابط متقابل میان صفات از طریق بررسی زاویه بین بردارهای صفات امکان‌پذیر می‌شود. در واقع ضریب همبستگی بین جفت صفات با کسینوس زاویه بین بردارها برآورد می‌شود (Kendal, 2022). بر این اساس زاویه بین ۹۰-۰ نشان‌دهنده وجود رابطه مثبت بین دو صفت است. افزایش مقدار زاویه از ۹۰ به ۱۸۰ حاکی از وجود رابطه منفی بین صفات است (Kendal, 2022). همچنین طول بردار نیز تعیین‌کننده میزان تأثیر صفت است (Yan & Tinker, 2005). هر چقدر طول بردار اتصال‌دهنده صفت به مبدأ بیشتر باشد، گویای انحراف معیار بیشتر صفت و تنوع بالا بین ژنوتیپ‌ها است (Sheikh *et al.*, 2022; Yan *et al.*, 2007). تحلیل روابط از طریق بای‌پلات در شرایط نرمال (شکل ۲)، نشان از وجود ارتباط مثبت قوی بین اکثر صفات مورد بررسی است. این صفات توسط زوایای منفی کوچک بین بردارهای آنها قابل تمیز هستند ( $r = \cos 0^\circ = +1$ ). مماس بودن بردار طول دمبرگ با قطر طبق و بردار قطر ساقه با عملکرد نشانگر وجود همبستگی مثبت و قوی بین آنهاست که حاکی از ارتباط قوی ژنتیکی و فنوتیپی بین این صفات می‌باشد (Morovati *et al.*, 2019). بین عملکرد با همه صفات بجز صفت کلروفیل همبستگی مثبت مشاهده شد. در این میان همبستگی مثبت و قوی بین طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه، طول دمبرگ، قطر طبق، درصد روغن دانه با عملکرد مشاهده شد؛ بنابراین انتخاب در جهت افزایش این صفات با افزایش عملکرد همراه خواهد بود. در نتیجه از این صفات مورفولوژیک می‌توان جهت انتخاب غیر مستقیم برای افزایش عملکرد تحت شرایط نرمال استفاده کرد.

جدول ۲. برآورد آماره F برای اثرات ثابت در تجزیه واریانس لاتیس ساده تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در طی دو سال زراعی.

Sources of variation	Conditions	PH			LN			LL		
		F	Num	Den	F	Num	Den	F	Num	Den
Genotype	Normal	3.20***	99	93	1.92	99	95.1	2.23***	99	93.5
	Stress	2.30***	99	93.5	1.54*	99	94.3	1.86**	99	95.2
Genotype		WL			PL			SD		
		F	Num	Den	F	Num	Den	F	Num	Den
Genotype	Normal	1.87**	99	91.3	1.86**	99	92.7	2.09***	99	93.1
	Stress	1.49*	99	94.4	1.88**	99	91.8	1.51*	99	93.1
Genotype		Ch			DF			DM		
		F	Num	Den	F	Num	Den	F	Num	Den
Genotype	Normal	2.01***	99	297	2.68***	99	87.3	3.80***	99	85
	Stress	1.77***	99	269	2.74***	99	84.5	1.97***	99	91.4
Genotype		HD			RWC			OIL		
		F	Num	Den	F	Num	Den	F	Num	Den
Genotype	Normal	0.03	99	99	0.88	99	83.1	6.76***	99	98.8
	Stress	1.12	99	95.8	1.36	99	90.7	7.89***	99	98.6
Genotype		Yield								
		F	Num	Den						
Genotype	Normal	2.1***	99	88.9						
	Stress	0.95	99	94.9						

\*، \*\*، \*\*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، 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 نسبی آب (RWC, %)، محتوای روغن دانه (Oil, %)، و عملکرد (Yield, g).

جدول ۳. برآورد واریانس اثرات تصادفی در طرح لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری معمول طی دو سال زراعی

Character	Year	Replication / Year	Block (Year × Replication)	Genotype × Year	Experimental error
Plant height	77.90	7.101	63.825	41.854	151.89
Number of leaf	6.381	0	0.943	2.764	8.423
Leaf length	3.517	0.0525	0.281	1.699	4.776
Leaf width	4.759	0.039	0.214	2.395	6.836
Petiole length	4.243	0.158	0.108	0.790	2.146
Stem diameter	0.823	0.025	0.051	0.197	0.541
Chlorophyll	3.999	0.314	0	0	21.378
Day to flowering	8.895	0.422	0.509	1.926	14.68
Day to maturity	0.204	0.277	0.137	1.235	20.207
Head diameter	1.920	0.241	0.360	8.557	1.443
RWC	49.54	0	1.577	4.416	95.274
Oil performance	1.862	0.005	0.012	3.449	0.480

RWC; Relative water content

قوی‌ترین همبستگی مثبت بین صفت عملکرد با قطر ساقه مشاهده شد و با توجه به طول بردار قطر ساقه این صفت بیشترین تأثیر را بر عملکرد بعد از روز تا گلدهی، عرض برگ، و طول برگ دارا می‌باشد و دارای تنوع بالا بین ژنوتیپ‌ها است. زاویه بین بردارهای دو صفت محتوای نسبی آب با صفت عرض برگ عمود برهم است ( $r = \cos 90^\circ = 0$ ) که حاکی از عدم وجود همبستگی بین این دو صفت می‌باشد (شکل ۲). محتوای نسبی آب با صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول برگ، طول دمبرگ، قطر طبق و کلروفیل همبستگی منفی نشان داد. همچنین با توجه به طول بلند بردارهای صفات عملکرد، قطر ساقه، طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر طبق، ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و روز تا گلدهی، به نظر ژنوتیپ‌ها طیف گسترده‌ای از پراکندگی را برای این صفات داشتند؛ به عبارتی برای این صفات تنوع بالا بین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال مشاهده شد.

جدول ۴. برآورد واریانس اثرات تصادفی در طرح لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری محدود طی دو سال زراعی.

Character	Year	Replication / Year	Block (Year × Replication)	Genotype × Year	Experimental error
Plant height	248	0	66.775	66.62	67.746
Number of leaf	17.364	0.193	3.189	5.896	6.742
Leaf length	2.589	0.064	1.295	1.379	2.705
Leaf width	1.825	0.042	1.210	1.628	2.961
Petiole length	0	0.042	0.389	0.308	0.906
Stem diameter	0.485	0	0.056	0.131	0.33
Chlorophyll	0	0	1.033	0	23.108
Day to flowering	9.321	0.125	0.177	0.670	12.542
Day to maturity	0	0	0.030	7.126	15.638
Head diameter	2.312	0.32	1.122	1.823	3.439
RWC	3.145	26.725	14.143	7.646	76.561
Oil performance	3.058	0.073	0.067	3.086	0.737
Yield	0	0.8689	16.191	59.731	107.18

RWC; Relative water content

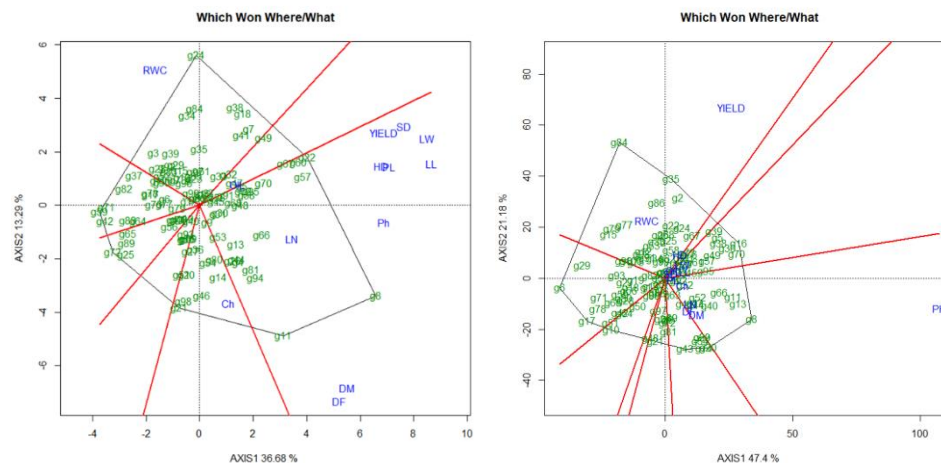
بر پایه نتایج جدول همبستگی بیشترین همبستگی تحت شرایط نرمال با عملکرد به ترتیب مربوط به صفات قطر طبق (۰/۶۰۱)، عرض برگ (۰/۵۷۱) و قطر ساقه (۰/۵۳۳) است؛ در حالی که در بای‌پلات ژنوتیپ × صفت بین عملکرد با صفت قطر ساقه همبستگی مثبت و قوی مشاهده شد که نشان می‌دهد بین نتایج بای‌پلات با جدول همبستگی ساده (جدول ۵) مطابقت کامل وجود ندارد و



این به دلیل نحوه عملکرد متفاوت آنها است (Yan & Rajcan, 2002). به نظر انتخاب بر اساس نتایج بای‌پلات با موفقیت بیشتری همراه باشد.

تحت شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری)، بین اکثر صفات همبستگی وجود داشت. بین عملکرد با اکثر صفات بجز محتوای کلروفیل، تعداد برگ، روز تا رسیدگی و روز تا گلدهی همبستگی مثبت وجود داشت. بین روز تا رسیدگی، روز تا گلدهی، طول برگ، طول دمبرگ، کلروفیل، ارتفاع بوته و تعداد برگ با محتوای نسبی آب همبستگی منفی مشاهده شد. در تنش خشکی (محدودیت آبیاری) به دلیل همبستگی مثبت موجود بین صفت قطر طبق با اکثر صفاتی که همبستگی مثبت با عملکرد دارند، انتخاب غیر مستقیم بر اساس صفت قطر طبق مطلوبتر خواهد بود. تحت شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری) صفات عملکرد، قطر ساقه، طول برگ، عرض برگ، قطر طبق، روز تا رسیدگی و روز تا گلدهی بیشترین تأثیرپذیری یا تنوع را در ژنوتیپ‌ها نشان دادند. در این بین بیشترین تأثیر مثبت مشاهده شده بین صفات با عملکرد مربوط به صفات قطر طبق، قطر ساقه، عرض برگ، و طول برگ و کمترین تأثیر مثبت مربوط به صفت درصد روغن دانه بود. بیشترین تأثیر منفی مربوط به صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی و کمترین تأثیر منفی بر عملکرد مربوط به صفت محتوای کلروفیل بود. با توجه به روابط موجود در شرایط نرمال با صفت قطر ساقه و در شرایط تنش خشکی با صفت قطر طبق، فقط با یک صفت (حذف اندازه‌گیری‌های اضافی) می‌توان اقدام به انتخاب کرد (Mohammadi, 2019). همبستگی بین صفت قطر ساقه و قطر طبق با عملکرد پیشتر نیز گزارش شده بود (Gholizadeh *et al.*, 2021; Zabet, 2017; Zabet *et al.*, 2016).

میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها با ترسیم محور مختصات میانگین تستر (Average Tester Coordination; ATC) و تعیین ژنوتیپ‌آیده‌ال که شامل ترکیبی از صفات خوب است، مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر این اساس ژنوتیپی برتر است که از نظر اکثر صفات مطلوب بوده و کمترین فاصله را با دایره مرکزی روی مختصات افقی میانگین تستر (ATC) داشته باشد. با توجه به محور قائم ATC، ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست قرار می‌گیرند از مقادیر متوسط به بالا در صفات واقع شده در این بخش برخوردارند (شکل ۳ و ۴). همچنین صفات واقع در این بخش در برتر بودن ژنوتیپ‌ها نقش بیشتری دارند (Najafi *et al.*, 2022). بر این اساس تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و محدود تمام صفات بجز محتوای نسبی آب بر شاخص بودن ژنوتیپ‌ها نقش دارند. تحت شرایط نرمال به ترتیب ژنوتیپ شماره ۸، ۲۲، ۵۷، ۶۰ و ۱۱ ژنوتیپ‌های برتر از نظر تمام صفات هستند و نزدیکترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل دارند و ژنوتیپ‌های شماره ۵۹، ۴۲ و ۷۲ به ترتیب بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشند یا به عبارتی در تمام صفات در سطح پایینتر از متوسط قرار دارند (شکل ۳ و ۴). ژنوتیپ شماره ۵۷ از پایداری بیشتر یا تنوع کمتر در همه صفات مورد بررسی از جمله عملکرد تحت شرایط نرمال برخوردار است (شکل ۳). تحت شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری) به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۷۰، ۱۱، ۱۳ و ۶۹ ژنوتیپ‌های برتر از نظر تمام صفات معرفی می‌شوند. در این میان ژنوتیپ شماره ۷۰ از نظر تمام صفات از بالاترین میانگین و پایداری برخوردار است؛ بنابراین به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل در شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری) معرفی می‌شود که چندین صفت خوب را در ساختار ژنتیکی خود دارا می‌باشد (Mohaddesi *et al.*, 2017; Badu-Apraku & Akinwale, 2011). ژنوتیپ ایده‌آل (۷۰) یا ژنوتیپ‌های برتر که در نزدیکترین فاصله با ژنوتیپ ایده‌آل قرار دارند را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های بالقوه مطلوب در مطالعات آتی مورد استفاده قرار داد (Mohaddesi *et al.*, 2017). ژنوتیپ‌های ۱۹، ۵۹ و ۱۷ به ترتیب بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشند (شکل ۳ و ۴).

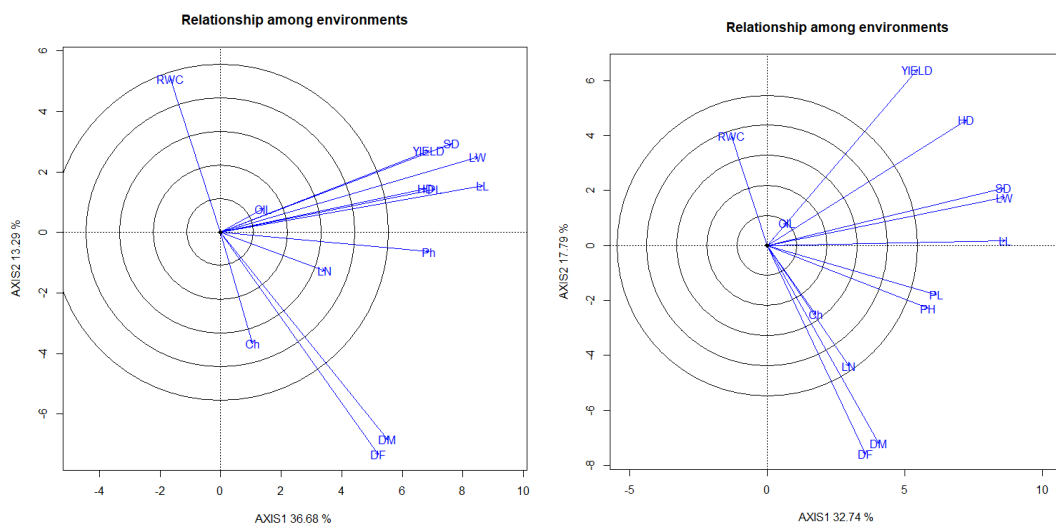


شکل ۱. چندضلعی GT-Biplot برای تعیین ژنوتیپ برتر در شرایط نرمال (سمت راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (سمت چپ).

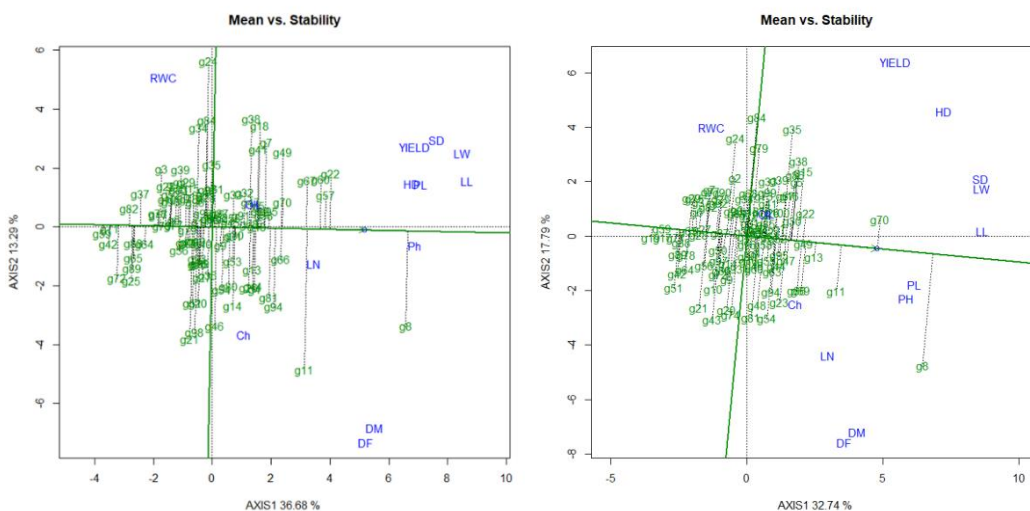
جدول ۵. ضرایب همبستگی فنوتیپی بین صفات مختلف مورفولوژیکی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری).

Character	PH	LN	LL	LW	PL	SD	Ch	DF	DM	HD	RWC	Oil	Yield
PH	1	0.408	0.550	0.532	0.447	0.408	0.063	0.311	0.371	0.345	-0.105	0.137	0.369
LN	0.382	1	0.233	0.229	0.104	0.238	0.060	0.171	0.208	0.091	-0.010	0.060	0.121
LL	0.409	0.285	1	0.873	0.588	0.703	-0.047	0.329	0.381	0.504	-0.135	0.163	0.496
LW	0.357	0.175	0.838	1	0.577	0.740	0.021	0.254	0.290	0.485	-0.05	0.012	0.571
PL	0.322	0.134	0.530	0.491	1	0.493	-0.038	0.277	0.281	0.445	-0.105	0.130	0.460
SD	0.369	0.201	0.733	0.771	0.482	1	0.011	0.204	0.205	0.506	-0.034	-0.013	0.533
Ch	0.196	0.135	0.047	0.038	0.141	0.148	1	0.242	0.165	0.096	-0.024	0.01	0.131
DF	0.278	0.228	0.242	0.166	0.234	0.148	0.172	1	0.808	0.273	-0.307	0.060	0.172
DM	0.291	0.220	0.256	0.221	0.297	0.178	0.157	0.836	1	0.264	-0.253	-0.025	0.243
HD	0.305	-0.028	0.550	0.588	0.295	0.656	0.017	-0.007	0.052	1	-0.062	0.149	0.601
RWC	-0.099	-0.117	-0.172	0.004	-0.098	0.017	0.003	-0.263	-0.233	-0.030	1	0.026	0.077
Oil	0.073	0.131	0.061	0.039	-0.054	0.068	-0.078	-0.043	-0.003	0.054	0.065	1	0.095
Yield	0.220	-0.200	0.358	0.499	0.057	0.549	0.003	-0.154	-0.107	0.790	0.112	0.071	1

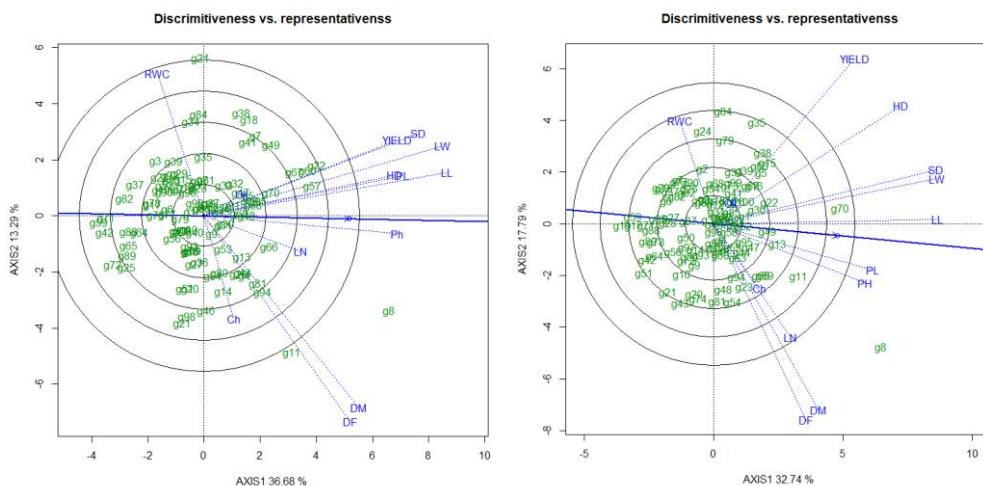
همبستگی‌های بزرگتر یا مساوی ۰/۱۹۳ در سطح پنج درصد و همبستگی‌های بزرگتر یا مساوی ۰/۲۵۱ در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند. در جدول همبستگی بالای قطر اصلی همبستگی تحت شرایط نرمال بین صفات و پایین قطر اصلی همبستگی بین صفات تحت شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری) را نشان می‌دهد. ارتفاع بوته (PH, cm)، تعداد برگ (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 نسبی آب (RWC, %)، محتوای روغن دانه (Oil, %) و عملکرد (Yield, g).



شکل ۲. بای پلات نقشه همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ).



شکل ۳. بای پلات رتبه بندی ژنوتیپ های آفتابگردان دانه روغنی در مقایسه با ژنوتیپ ایده آل در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ).



شکل ۴. بای پلات مقایسه ژنوتیپ های آفتابگردان دانه روغنی با ژنوتیپ ایده آل از نظر صفات و پایداری در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ).

#### ۴. نتیجه گیری

استفاده از بای پلات ژنوتیپ در صفت (GT-biplot)، ضمن صرفه جویی در زمان، به واسطه تفسیر مطلوب حجم وسیعی از داده‌ها کمک شایان توجهی به برنامه‌های به‌نژادی می‌کند. در این مطالعه تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و محدودیت آبیاری مطلوب، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۸ و ۵۹ به‌عنوان بهترین و بدترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. ژنوتیپ‌های ۵۹، ۴۲ و ۷۲ تحت شرایط آبیاری معمول و ژنوتیپ‌های ۱۹، ۵۹ و ۱۷ تحت شرایط محدودیت آبیاری بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر جمیع صفات مرتبط با عملکرد شناسایی شدند. ژنوتیپ ۷۰ به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل تحت تنش خشکی (محدودیت آبیاری) ارزیابی شد. شناسایی ژنوتیپ‌های کاملاً متمایز کمک شایانی به برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام هیبرید در برنامه‌های آتی می‌کند. با توجه به روابط صفات تحت شرایط نرمال؛ صفت قطر ساقه و تحت محدودیت آبیاری؛ صفت قطر طبق نقش مهم در گزینش غیر مستقیم برای عملکرد خواهند داشت. بای پلات GT، امکان بررسی چندجانبه و تلخیص اطلاعات جهت رسیدن به یک نتیجه جامع و کامل را مقدور می‌سازد.

#### ۵. منابع

- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Hamedani, M.Y., Shiresmaeli, G., Nassserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R., & Gholizadeh, A. (2021). Genotype-environment interactions and simultaneous selection for high seed yield and stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) multi-environment trials. *Agricultural Research*, 10, 1–10.
- Badu-Apraku, B., & Akinwale, R.O. (2011). Cultivar evaluation and trait analysis of tropical early maturing maize under strigainfested and striga-free environments. *Field Crops Research*, 121, 186-194.
- Dufresne, J.L., Salas, Y., Méliá, D., Denvil, S., Tyteca, S., Arzel, O., Bony, S., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Caubel, A., & Chauvin, F. (2006). Simulation du climat récent et future par les modèles du CNRM et de l'IPSL. La Météorologie, SHF-29 Hydraulics Days Congress: Climate variations and hydrology, Lyon, 27-28 March 2007 – JL Dufresne- JF Royer. 55, 45-59.
- Fernandez, O., Urrutia, M., Berton, T., Bernillon, S., Deborde, C., Jacob, D., Maucourt, M., Maury, P., Durufé, H., Gibon, Y., Langlade, N.B., & Moing, A. (2019). Metabolomics characterization of sunflower leaf allows discriminating genotype groups or stress levels with a minimal set of metabolic markers. *Metabolomics*, 15, 56.
- Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Payghamzadeh, K., & Kia, S. (2021). Study on relationships between yield and other agronomic traits and identification of the superior hybrids in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Crop Breeding*, 13(37), 171-184. (In Persian).
- Hosseini, S.Z. (2016). Evaluation of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) genotypes, using biplot analysis. *Journal of Crop Breeding*, 8, 192-202. (In Persian).
- Kendal, E. (2022). Using biplot analysis technique to selection in tritikale breeding studies. *Yuzuncu Yil University. Journal of Agricultural Sciences*, 32(1), 186-198.
- Koç, S., Orak, A., Tenikecier, H.S., & Nezihi Sağlam, N. (2018). Relationship between seed yield and yield characteristics in faba bean (*Vicia faba* L.) by GGE-biplot analysis. *Journal of Life Sciences*, 12, 105-110.
- Kaplan, M., Arslan, M., Kale, H., Kara, K., & Kökten, K. (2017). GT biplot analysis for silage potential, nutritive value, gas and methane production of stay-green grain sorghum shoots. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 44(3), 2019.
- Motamedi, M., & Safari, P. (2019). Evaluation of water deficient stress tolerance in some wheat cultivars and their hybrids using canonical discriminant analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding*, 11(29), 104-116. (In Persian).
- Mohaddesi, A., Erfani, R., Sharifi, P., Aminpanah, H., & Abouzar Abbasian, A. (2017). Studying the relationships between yield and yield components and stability of some of rice genotypes using biplot method. *Cereal Research*, 6(4), 411-421. (In Persian).
- Mohammadi, R. (2019). Genotype by yield  $\times$  trait biplot for genotype evaluation and trait profiles in durum wheat. *Cereal Research Communications*, 47(3), 541-551.
- Morovati, Z., Farshadsfar, E., & Romena, M.H. (2019). Genetic evaluation of physiological traits related to drought tolerance in some bread wheat genotypes under rain-fed conditions. *Agronomy and Plant Breeding*, 15(2), 35-50. (In Persian).
- Najafi, S., Mohammadi, R., Shooshtari, L., Etminan, A., & Mehrabi, A.M. (2022). Evaluation of morpho-physiological diversity of durum wheat genotypes using genotype  $\times$  trait biplot method. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 211-226. (In Persian).
- Porkabiri, Z., Sabaghnia, N., Ranjbar, R., & Maleki, H. (2019a). Genetic variation of some tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes by morphological traits. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 50(1), 1-7.

- Porkabiri, Z., Sabaghnia, N., Ranjbar, R., & Maleki, H.H. (2019b). Morphological traits and resistance to Egyptian broomrape weed (*Orobanche aegyptiaca* Pers.) in tobacco under greenhouse condition. *Australian Journal of Crop Science*, 13(2), 287.
- Radanović, A., Miladinović, D., Cvejić, S., Jocković, M., & Jocić, S. (2018). Sunflower genetics from ancestors to modern hybrids—A Review. *Genes*, 9, 528.
- Rauf, S., Jamil, N., Tariq, S.A., Khan, M., Kausar, M., & Kaya, Y. (2017). Progress in modification of sunflower oil to expand its industrial value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 1997–2006.
- Rauf, S., Ortiz, R., Shehzad, M., Haider, W., & Ahmed, I. (2020). The exploitation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed and other parts for human nutrition, medicine and the industry. *Helia*, 43(73), 167–184.
- Rauf, S. (2019). Breeding strategies for sunflower (*Helianthus annuus* L.) genetic improvement. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., & Johnson, D.V. (Eds.), *Advances in plant breeding strategies*. *Industrial and Food Crops*, 6, 637–673.
- Sheikh, F., Nazari, H., & Fanaii, H. (2022). Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean genotypes using the biplot method. *Crop Production Journal*, 15(2), 117-136. (In Persian).
- Shi, H., Wu, Y., Yi, L., Hu, H., Su, F., Wang, Y., Li, D., & Hou, J. (2023). Analysis of QTL mapping for germination and seedling response to drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Peer Journal*, 11, e15275 <http://doi.org/10.7717/peerj.15275>.
- Shojaei, S.H., Ansarifard, I., Mostafavi, K., Bihamta, M.R., & Zabet, M. (2022). GT biplot analysis for yield and related traits in some sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100370.
- Shojaei, S.H., Mostafavi, K.H., Khosroshahli, M., & Bihamta, M.R. (2020). Assessment of genotype-trait interaction in maize (*Zea mays* L.) hybrids using GGT biplot analysis. *Food Science and Nutrition*, 8, 5340-5351.
- Thomason, W.E., & Phillips, S.B. (2006). Methods to evaluate wheat cultivar testing environments and improve cultivar selection protocols. *Field Crops Research*, 99(2–3), 87–95.
- 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., & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42, 11-20.
- Yan, W., & Kang, M.S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomist, CRC press, Boca Raton, FL, p. 288. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>.
- Yan, W. (2014). *Crop variety trials: Data management and analysis*. Wiley-Blackwell.
- 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.
- Yan, W., & Tinker, N.A. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype × environment interaction. *Crop Science*, 45, 1004-1016.
- 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, 643-653.
- Yan, W., & Frégeau-Reid, J. (2008). Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science*, 48, 417-423.
- Yaşar, 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.
- Zabet, M. (2017). Identification of superior genotypes of rapeseed by GT biplot and GGE biplot methodology in normal and stressed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48, 207-220. (In Persian).
- Zabet, M., Samadzadeh, A.R., & Shorvarzi, A. (2016). Selection of the most effective traits on yield of sunflower under normal irrigation and drought stress conditions in Birjand region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(2), 217-231. (In Persian).