



## ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی با استفاده از بای پلات ژنوتیپ- صفت تحت شرایط آبیاری

### معمول و محدود

نسرین اکبری<sup>۱</sup>، رضا درویش‌زاده<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اصلاح نباتات-ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه.

<sup>۲</sup> استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه.

### چکیده

با توجه به سرعت تغییرات محیطی و وسعت و گستره داده‌های حاصل از ارزیابی‌ها در فعالیتهای به‌نژادی، ضرورت به کارگیری روش‌های تجزیه سریع و مطمئن داده‌ها بیش از پیش مورد توجه است. روش‌های گرافیکی بای پلات با فراهم کردن امکان تجزیه سریع، جامع و دقیق اطلاعات، به همراه تفسیر راحت نتایج، کمک شایانی به پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی می‌نمایند. 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، کلروفیل، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، قطر طبق، محتوای نسبی آب، محتوای روغن دانه، و عملکرد ارزیابی شدند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر یک از شرایط از روش تحلیل بای پلات 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 همبستگی بالایی مشاهده شد. از نظر جمیع صفات تحت هر دو شرایط آبیاری، ژنوتیپ شماره ۸ به عنوان بهترین و ژنوتیپ‌های شماره ۵۹، ۴۲ و ۷۲ تحت شرایط آبیاری معمول و ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۵۹ و ۱۷ تحت شرایط آبیاری محدود بدترین ژنوتیپ‌ها بودند. به منظور انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد تحت شرایط آبیاری معمول، از صفت قطر ساقه و تحت شرایط آبیاری محدود از صفت قطر طبق می‌توان استفاده نمود.

**کلمات کلیدی:** آفتابگردان، بای پلات، تجزیه پایداری، عملکرد دانه، GT Biplot

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 به عنوان سالم‌ترین روغن در رژیم غذایی جایگاه ویژه‌ای دارد (Rauf *et al.*, 2017, 2020). با توجه به تغییرات اقلیمی و گسترش مناطقی که با تنش‌های کم آبی و شوری مواجه هستند، پیش‌بینی می‌شود سطح زیرکشت آفتابگردان که واکنش نسبتاً متحمل (نیمه متحمل) به تنش‌های فوق نشان می‌دهد، به طور 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 بشمار می‌رود (Alizadeh *et al.*, 2021). موفقیت هر برنامه به‌نژادی به توانایی به‌نژادگر در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای صفات متعدد به طور 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؛ به طوری که، انتخاب بر اساس چندین صفت با بالاترین بازده و موفقیت همراه باشد (Koç *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 *et al.*, 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 غیرمستقیم برای بهبود (به‌نژادی) یک صفت خاص استفاده کرد را آسان‌تر نماید. 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 and Tinker, 2006; Kendal, 2022). بای‌پلات GT جهت ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط مختلف محیطی بکار 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 (Koç *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.

تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان که از مراکز مختلف تحقیقاتی تهیه شدند (جدول ۱) در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ در دو شرایط آبیاری معمول و محدود در روستای قزلجه سلماس با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی و ۲۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا، در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ ارزیابی شدند. روستای قزلجه با توجه به گزارشات آب و هوایی، دارای میزان متوسط بارندگی سالیانه ۳۸۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (<http://en.climate-data.org/location/1784/>). هر واحد آزمایش از یک خط کاشت به طول ۵ متر تشکیل شد و بذور به فواصل ۵۰ سانتی‌متر در روی خطوط کاشت و با فواصل ۶۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت شدند. فاصله دو تکرار از هم ۱/۵ متر و فاصله دو آزمایش از هم ۵ متر انتخاب گردید. در هر دو سال مورد مطالعه، تا مرحله ۸ برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش (آبیاری معمول و محدود) بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. از مرحله ۸ برگی آبیاری در آزمایش آبیاری معمول تا انتهای فصل رشد به منوال قبل 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. در هر کرت زراعی در هر تکرار 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) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of studied sunflower genotypes

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-	France	71	HAR-4	U.S.A
				CHLORINA				
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- CONTROLPLAS TIPIC	
28	5AS- F1/A2*R5AS- 29- F1/A2*R2	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			

## 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(Year) Block(Year*Rep) Entry*Year;
Lsmeans Entry/Pdiff Adjust=Tukey;
%Mult (Trt=Entry);
Run;
Ods Rtf Close;
```

برای تجزیه بای‌پلات GT از مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تصحیح شده 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 توجیه نشده 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 به کارگیری 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 یان و کانگ (Yan and Kang, 2003) و یان (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.

## نتایج 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- برآورد آماره F برای اثرات ثابت در تجزیه واریانس لاتیس ساده تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در طی دو سال زراعی

Table 2. Estimation of the F statistic for fixed effects in variance analysis of simple lattice under normal and drought stress conditions during two cropping years

Sources of variation	Condition	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	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	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

		HD			RW			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
Yield										
Genotype	Normal	2.1***	99	88.9						
	Stress	0.95	99	94.9						

\*\*\*, \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ 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, gr).

Asterisk \* and \*\* represent significance level at 5 and 1%, respectively. Plant height (PH, cm), number of leaves (LN), leaf length (LL, cm), leaf width (LW, cm), petiole length (PL, cm), stem diameter (SD, cm), chlorophyll (Ch), days to flowering (DF, day), days to maturity (DM, day), diameter according to (HD, cm), relative water content (RWC, %), seed oil content (Oil, %), and yield (Yield, g). Num: The numerator degrees of freedom; Den: The denominator degrees of freedom.

جدول ۳- برآورد واریانس اثرات تصادفی در طرح لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری معمول طی دو سال زراعی  
Table 3. Estimation of variance of random effects in simple lattice under normal irrigation conditions during two cropping years

Character	Year	Repetition / Year	Block (Year × Repetition)	Genotype × Year	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

جدول ۴- برآورد واریانس اثرات تصادفی در طرح لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری محدود طی دو سال زراعی  
Table 4. Estimation of variance of random effects in simple lattice under limited irrigation conditions during two cropping years

Character	Year	Repetition / Year	Block (Year × Repetition)	Genotype × Year	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

### شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه

در تحلیل بای پلات ژنوتیپ- صفت در شرایط آبیاری معمول، دو مؤلفه اول در مجموع ۴۹/۹۷٪ از تنوع کل را توجیه می‌نمایند؛ از این مقدار ۳۶/۶۸٪ توسط PC1 و ۱۳/۲۹٪ توسط PC2 توجیه می‌شود. این درصد نشان از پیچیدگی روابط بین صفات دارد (Yan and 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 می‌شود. 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 and Phillips, 2006; Koç *et al.*, 2018)؛ ولی به دلیل دارا بودن سطح متوسط برای تمام صفات از پتانسیل بالقوه برخوردارند (Yan and 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 طولانی‌تری که از مبدأ بای پلات 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 بخصوص عملکرد بشمار می‌روند. در این میان، ژنوتیپ شماره ۸ (254-ENSAT)، به دلیل فاصله طولانی‌تری که از مبدأ بای پلات 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 بخصوص 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 (254-

(ENSAT)، ۱۶ (RHA266)، ۷۰ (SDB1)، ۳۵ (H603R)، ۸۴ (ایرانی ۳۶)، ۶ (H209A/83HR4)، ۱۷ (PAC2)، ۲۱) 254-2) ۴۳ (LP-SCYB)، ۲۰ (15038) 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)، 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 بای پلات چندضلعی ژنوتیپ در صفت برای مقایسه، انتخاب ژنوتیپ و در تعیین رابطه بین صفات و ژنوتیپ، در گیاهان متعددی همچون سویا (Yan and 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.



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

Figure 1. GT-Biplot polygon to determine the superior genotype under normal (Right) and drought stress (irrigation limitation) conditions (Left).

در نمودار بای پلات، روابط متقابل میان صفات از طریق بررسی زاویه بین بردارهای صفات امکان پذیر می شود. در واقع ضریب همبستگی بین جفت صفات با کوسینوس زاویه بین بردارها برآورد می شود (Kendal, 2022). بر این اساس زاویه بین ۹۰-۰ نشان دهنده 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 تعیین کننده میزان تأثیر صفت است (Yan and Tinker, 2005). هر چقدر طول بردار اتصال دهنده صفت به مبدأ بیش تر باشد، گویای انحراف معیار بیشتر صفت و تنوع بالا بین ژنوتیپها است (Sheikh et al., 2022; Yan et al., 2007). تحلیل روابط از طریق بای پلات 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 می باشد (Morovati et al., 2019). بین عملکرد با همه صفات به جز 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 می توان جهت انتخاب غیرمستقیم برای افزایش عملکرد تحت شرایط نرمال استفاده کرد. قوی ترین همبستگی مثبت مابین 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 گل دهی، عرض برگ، و طول برگ دارا می باشد و دارای تنوع بالا بین ژنوتیپهاست. زاویه بین بردار 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 می باشد (شکل ۲). محتوای نسبی آب با صفات روز تا گل دهی، 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 بردار صفات عملکرد، قطر ساقه، طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر طبق، ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و روز تا گل دهی، به نظر ژنوتیپها طیف گسترده ای از پراکندگی را برای این صفات داشتند؛ به عبارتی برای این صفات تنوع بالا بین ژنوتیپها تحت شرایط نرمال مشاهده شد.

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 حالیکه در بای پلات ژنوتیپ × صفت بین عملکرد با صفت قطر ساقه همبستگی مثبت و قوی مشاهده شد که نشان می دهد مابین نتایج بای پلات با جدول همبستگی ساده (جدول ۵) مطابقت کامل وجود ندارد و این به دلیل نحوه عملکرد متفاوت آنهاست (Yan and Rajcan, 2002). به نظر انتخاب بر اساس نتایج بای پلات با موفقیت بیشتری همراه باشد.

تحت شرایط تنش خشکی (محدودیت آبیاری)، بین اکثر صفات همبستگی وجود داشت. بین عملکرد با اکثر صفات به جزء محتوای کلروفیل، تعداد برگ، روز رسیدگی و روز تا گل دهی 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 غیرمستقیم بر اساس صفت قطر طبق مطلوب تر 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 تأثیر پذیری 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).

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

Table 5. Phenotypic correlation coefficients between different morphological traits in sunflower genotypes under normal and drought stress (irrigation limitation) conditions

Character	PH	LN	LL	LW	PL	SD	Ch	DF	DM	HD	RWC	Oil	Yield
PH	1	0.408	0.55	0.532	0.447	0.408	0.063	0.311	0.371	0.345	-0.105	0.137	0.369
LN	0.382	1	0.223	0.229	0.104	0.238	0.06	0.171	0.208	0.091	-0.01	0.06	0.0121
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	0.74	0.021	0.254	0.29	0.485	-0.05	0.012	0.571
PL	0.322	0.134	0.53	0.491	1	0.493	-0.038	0.277	0.281	0.445	-0.105	0.13	0.46
SD	0.369	0.201	0.723	0.771	0.482	1	0.011	0.204	0.205	0.506	-0.034	-0.013	0.532
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	0.06	0.172
DM	0.291	0.22	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	0.55	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	-0.03	1	0.026	0.77
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	0.22	-0.2	0.358	0.499	0.057	0.549	0.003	-0.154	-0.107	0.79	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, gr)

Correlations greater than or equal to 0.193 are significant at the five percent probability level and correlations greater than or equal to 0.251 are significant at the one percent probability level. In the correlation table, the top of the main diameter shows the correlation between traits under normal conditions, and the bottom of the main diameter shows the correlation between traits under drought stress conditions (irrigation limitation). Plant height (PH, cm), number of leaves (LN), leaf length (LL, cm), leaf width (LW, cm), petiole length (PL, cm), stem diameter (SD, cm), chlorophyll (Ch), days to flowering (DF, day), days to maturity (DM, day), diameter according to (HD, cm), relative water content (RWC, %), seed oil content (Oil, %), and yield (Yield, g).

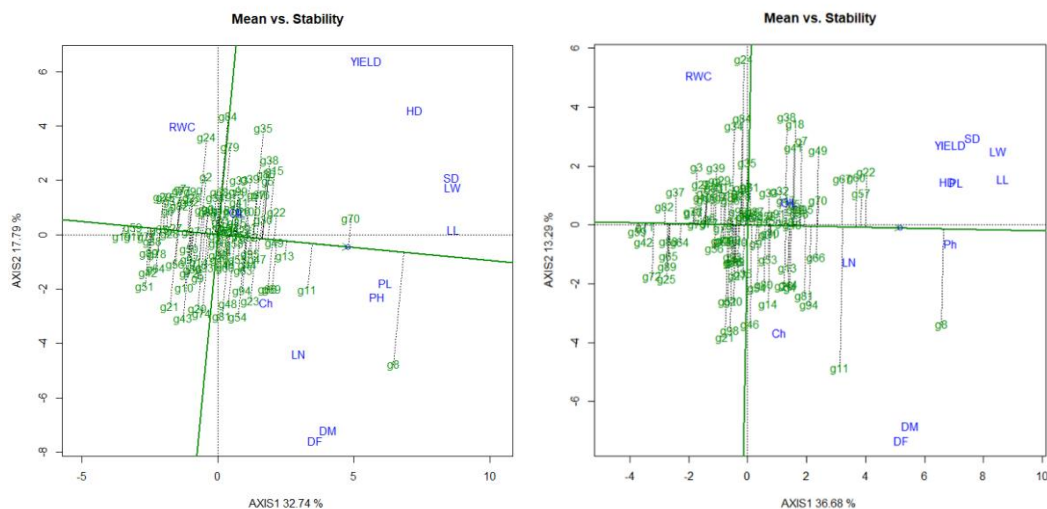


شکل ۲- Error! No text of specified style in document. بای پلات نقشه همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ)

Figure 2. Biplot of the correlation map between studied traits under normal (Right) and drought stress (Left) conditions

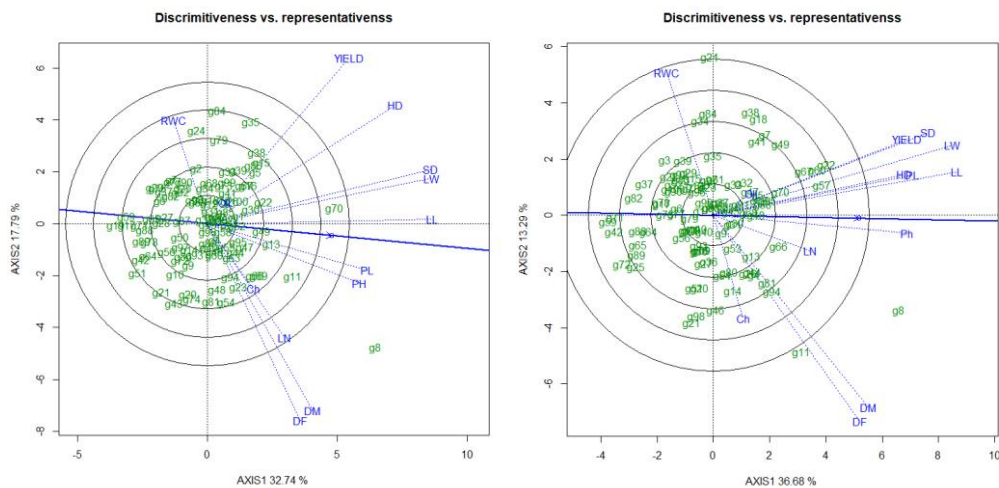
میانگین صفات اندازه گیری شده ژنوتیپها با ترسیم محور مختصات میانگین تستر (Average Tester Coordination; ATC) و تعیین ژنوتیپ ایده آل که شامل ترکیبی از صفات خوب است، مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر این اساس ژنوتیپی برتر است که از نظر اکثر صفات مطلوب بوده و کمترین فاصله را با دایره مرکزی بر روی مختصات افقی میانگین تستر (ATC) داشته باشد. با توجه به محور قائم ATC، ژنوتیپهایی که در سمت راست قرار می گیرند از مقادیر متوسط به بالا در صفات واقع شده در این بخش برخوردارند (شکل ۳ و ۴). همچنین صفات واقع در این بخش در برتری ژنوتیپها نقش بیشتری دارند (Najafi *et al.*, 2022). بر این اساس تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و محدود تمام صفات جز 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 ایده آل دارند و ژنوتیپهای شماره ۵۹، ۴۲ و ۷۲ به ترتیب بدترین ژنوتیپها از نظر تمام صفات بر اساس ژنوتیپ ایده آل می باشند 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 and 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. ژنوتیپ‌های ۱۹، ۵۹ و ۱۷ به ترتیب بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشند (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- بای پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی در مقایسه با ژنوتیپ ایده‌آل در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ)

Figure 3. Biplot of the ranking of oilseed sunflower genotypes compared to ideal genotype under normal (Right) and drought stress (Left) conditions.



شکل ۴- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی با ژنوتیپ ایده‌آل از نظر صفات و پایداری در شرایط نرمال (راست) و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) (چپ)

Figure 4. Biplot comparing oilseed sunflower genotypes with ideal genotype in terms of traits and stability under normal (Right) and drought stress (Left) conditions.

### نتیجه‌گیری

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

### منابع

Alizadeh, B., Rezaizad, A., Hamedani, M.Y., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, 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., Mélia, 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. <https://doi.org/10.1007/s11306-019-1515-4>.
- 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 with English Summary].
- 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 with English Summary].
- Kendal, E. (2022). Using Biplot Analysis Technique to Selection in Triticale Breeding Studies. Yuzuncu Yıl 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 (2018): 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): 230-238.
- Motamedi, M. & Parviz 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 with English Summary].
- 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 with English Summary].
- 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 with English Summary].
- Najafi S., Mohammadi R., Shoostari L., Etmian 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 with English Summary].

- 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., and Johnson, D.V. (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops Volume 6*. Springer Nature, Cham, Switzerland, 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 with English Summary].
- 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 (2022): 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  $\times$  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. & Fréreau-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  $\times$  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 with English Summary].
- 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 with English Summary].

### **Evaluation of oilseed sunflower genotypes using the genotype-trait biplot under normal and limited irrigation conditions**

Considering the speed of environmental changes and the extent of the data obtained from breeding evaluations, the need to use fast and reliable data analysis methods is more than important. Biplot graphical methods, by providing the possibility of quick, comprehensive and accurate analysis of information; along with easy interpretation of the results, provide great helps to advance of breeding programs. 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 of 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 number of 59, 42 and 72 and genotypes with code number 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 indicators for seed yield improvement under normal and drought stress conditions, respectively.



**Keywords:** Biplot, GT-biplot, stability analysis, seed yield, sunflower

عظیم  
حقائق  
استناد