"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

گزینش ژنوتیپ‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دانه روغنی برای عملکرد دانه و پایداری عملکرد با استفاده از شاخص پایداری چند صفتی (MTSI)

Selection of oil seed sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for seed yield and yield stability using multi-trait stability index (MTSI)

نسرین اکبری[1] و رضا درویش‌زاده[2]

چکیده

اکبری، ن. و ر. درویش‌زاده. ۱۴۰۳. گزینش ژنوتیپ‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دانه روغنی برای عملکرد دانه و پایداری عملکرد با استفاده از شاخص پایداری چند صفتی (MTSI). **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۳): ۳۶۸ -۳۵۲.**

موفقیت در گزینش و معرفی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار با توجه به پیچیدگی و تأثیرپذیری از محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بسیار با اهمیت است. تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده عملکرد است و با توجه به بحران جهانی خشکسالی، بسیار مورد توجه به‌نژادگران بوده و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی از اولویت‌های برنامه‌های به‌نژادی است. این تحقیق با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و برتر آفتابگردان بر اساس شاخص پایداری چند صفتی روی صفات مهم گیاهی ۱۰۰ لاین آفتابگردان دانه روغنی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰× ۱۰ در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) و تنش خشکی طی دو سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در روستای قزلجه از توابع شهرستان سلماس اجرا شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه و محتوای روغن دانه معنی‌دار بود. بنابراین از شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شد. نتایج نشان داد که چهار عامل با مقادیر ویژه بیش از یک، ۶۶/۲ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. شاخص MTSI دیفرانسیل گزینش با فراوانی موفقیت‌آمیز ۸۴/۶۱ درصد را داشت. ۱۵ ژنوتیپ با میانگین بالاتر از میانگین جمعیت در کلیه صفات به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. کمترین مقدار دیفرانسیل گزینش برای شاخص WAASBY (۰/۰۳۷۷ درصد) برای محتوای روغن دانه و بیشترین مقدار آن (۲۲/۱ درصد) برای عرض برگ مشاهده شد. ژنوتیپ ۸ (ENSAT-254) با بالاترین مقدار میانگین در هفت صفت طول برگ، طول دمبرگ، عملکرد دانه، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و تعداد برگ، کمترین مقدار شاخص MTSI را داشته و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. شاخص MTSI که دارای مزایای هر دو روش بلاپ و امی است، با بهره‌مندی از روش تجزیه به عامل‌ها و میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های خطی بی‌طرفانه (Weighted average of absolute scores of best unbiased linear predictions)، شاخص کارآمدتری در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و توسعه ارقام متحمل پرمحصول و پایدار آفتابگردان شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، برهمکنش ژنوتیپ و محیط، شاخص چند متغیره، فاصله ژنوتیپ- مطلوب و گزینش همزمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانش‌آموخته دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (مکاتبه کننده، r.darvishzadeh@urmia.ac.ir ✉)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

Selection of oil seed sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for seed yield and yield stability using multi-trait stability index (MTSI)

Akbari, N[1]. and Darvishzadeh, R.[2]

ABSTRACT

Akbari, N. and Darvishzadeh, R. 2025. Selection of oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for seed yield and yield stability using multi-trait stability index (MTSI). **Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 352-368. (In Persian).**

Introduction: Success in selecting and introducing genotypes with high yield and stabity is is very important in crop improvement programs, given that their susceptibility to environmental factors and genotype × environment interactions complicates decicon making for crop breeders. Drought stress is one of the important environmental factors affecting yield and drought tolerance is an important traits for crop breeders (Yasar *et al*., 2023). The aim of this experiment was to identify superior oilseed sunflower genotypes with high seed yield and stability using the multi-trait stability index.

Materials and Methods: In this experiment, 100 oilseed sunflower genotypes were evaluated for 13 agro-morphological traits including; seed yield and seed oil content using simple 10×10 lattice design under two of full irrigation and drought stress conditions in 2013 and 2014 in the village of Qezaljeh, Salmas County, Iran.

Results: Results of combined analysis of variance showed that the effects of genotype and genotype × environment interaction were significant. Therefore, the multi-trait stability index (MTSI) was used to select genotypes with high seed yield and stability. Four factors with eigenvalues greater than one explained 66.2% of the total variation. The MTSI differential selection index presented a success rate of 84.61%. Fifteen genotypes with means higher than the population mean in all traits were selected as genotypes with stability for those traits. The lowest selection differential for the WAASBY index (0.0377%) was observed in seed oil content and the highest index (22.1%) was observed in leaf width. Genotype 8 (254-ENSAT) showed the lowest MTSI index with the highest mean in seven traits: leaf length, petiole length, seed yield, number of days to flowering, number of days to maturity, plant height, and number of leaves, and was therefore identified as the genotype with high stabilty for these traits.

Conclusion: The MTSI index, which uses the advantages of both the Bluop and AMMI methods, is a more efficient index in identifying superior genotypes and developing genotypes with high yield and stability as well as drought tolerant cultivars by using both factor analysis methods and the weighted average of absolute best unbiased linear prediction scores (WAASBY).

Key words: Genotype-ideotype distance, Genotype × environment interaction, Multivariate index, Simultaneous selection and Sunflower

Received: January, 2025 **Accepted**: **April, 2025**

1. PhD. Graduate, Urmia University, Urmia, Iran
2. Professor, Urmia University, Urmia, Iran (Corresponding author, ✉ r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

مقدمه

تأمین و حفظ امنیت غذایی از اولویت‌های جوامع بشری است. روغن‌های گیاهی به دلیل دارا بودن توکوفرول، آنتی‌اکسیدان‌ها، کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب تک یا چند پیوند غیراشباعی، مهم‌ترین منبع برای پیشگیری از بیماری‌ها و ارتقای سلامت محسوب می‌شوند (Dabbour *et al*., 2014). آفتابگردان با دارا بودن روغن با ارزش غذایی بالا و کیفیت مطلوب، جزء مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی با سالم‌ترین روغن گیاهی است (Rauf *et al*., 2017, 2020; Rauf, 2019). کیفیت و پایداری روغن دانه وابسته به ترکیب و نسبت اسیدهای چرب روغن دانه است (Mohammadi *et al*., 2007) که علاوه بر تنوع ژنوتیپی، تحت تأثیر دما، نور، رطوبت، شوری، اکسیژن و مواد مغذی خاک و تاریخ کاشت قرار می‌گیرد (Singer *et al*., 2016). تنش خشکی که بازتاب شدید تغییرات اقلیمی حاصل از گرمایش جهانی است، مناطق مختلفی از جهان را تحت تاثیر قرا داده (Grant, 2012) و باعث وارد آمدن خسارت زیادی به گیاهان زراعی می‌شود.

ارزش تجاری یک ژنوتیپ به صفات مختلف آن بستگی دارد (Lee *et al*., 2023). اغلب صفات اقتصادی از جمله عملکرد و تحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، صفات کمّی بوده (Bapela *et al*., 2022)، به شدت تحت تأثیر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند. برهمکنش ژنوتیپ و محیط باعث کاهش ارتباط بین مقادیر فنوتیپی و ژنوتیپی می‌شود (Saeidnia *et al*., 2023) و عامل اصلی محدود کننده در گزینش موفق ژرم‌پلاسم و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر محسوب می‌شود (Enyew *et al*., 2021). درک تعاملات ژنوتیپ و محیط کمک شایان توجهی به بهینه‌سازی برنامه‌های به‌نژادی در جهت توسعه ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار می‌نماید. در این رابطه آزمایش‌های چندمحیطی و تجزیه واریانس مرکب و تجزیه پایداری نقش مهمی در ارزیابی، شناسایی و تجزیه تعاملات ژنوتیپ و محیط و گزینش ژنوتیپ‌هایی دارند که در محیط‌های مختلف از بهترین نمود فنوتیپی، عملکرد بالا و با ثبات، برخوردار هستند (Yasar *et al*., 2023).

برای گزینش همزمان براساس پایداری و میانگین عملکرد (Mean performance and stability; MPE) در چند صفت، شاخص پایداری چند صفتی (Multi-Trait Stability Index; MTSI) توسط اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al*., 2019b) معرفی شده است. در روش MTSI با بهره‌گیری از مزایای دو روش Best linear unbiased prediction (BLUP) و Additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) (Olivoto *et al*., 2019a) یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای هر صفت ایجاد می‌شود. در ادامه با تجزیه به مقادیر منفرد جداگانه این ماتریس‌ها، بردار میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی نااریب خطی (Weighted average of absolute scores of best linear unbiased predictions; WAASB) برای هریک از صفات حاصل می‌شود (Olivoto *et al*., 2019b). از طرفی با در نظر گرفتن مطلوبیت صفات، یک جدول دو طرفه مشابه برای ژنوتیپ مطلوب تعریف می‌شود. تجزیه عاملی روی این جداول به‌صورت جداگانه انجام می‌شود. شاخص پایداری چند صفتی برای هر ژنوتیپ از محاسبه فاصله اقلیدسی نمرات بین آن ژنوتیپ و ژنوتیپ مطلوب محاسبه می‌شود (Olivoto *et al*., 2019b) و در این روش شناسایی ژنوتیپ‌های با نمود فنوتیپی بالا و پایدار تسهیل می‌شود (Olivoto *et al*., 2019b). با توجه به تغییرات اقلیمی، توسعه سریع ارقام پایدار با سازگاری و نمود فنوتیپی بالا ضروری است. این موضوع ضرورت استفاده از روش‌های نوین آماری با کارایی، دقت و سرعت بالا برای دستیابی به ژنوتیپ‌های با ویژگی‌های یاد شده را در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی انکارناپذیر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

می‌نماید. از شاخص پایداری چند صفتی در چند گیاه زراعی از جمله برنج (Sharifi *et al*., 2021) و جو (Pour-Aboughadareh *et al*., 2023 a,b) استفاده شده است. در ارزیابی پایداری عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در ۲۷۶ رقم برنج کره‌ای با استفاده از شاخص پایداری چند صفتی که در سه دوره رشدی، سه منطقه و دو فصل رشد انجام شد، شش ژنوتیپ پایدار شناسایی شدند (Lee *et al*., 2023). در یک آزمایش از سه روش چند متغیره AMMI, BLUP و MTSI برای ارزیابی پایداری هفت لاین امید بخش برنج استفاده شد. بر اساس نتایج، در روش MTSI تنها یک ژنوتیپ پایدار و با عملکرد بالا شناسایی شد. این ژنوتیپ با استفاده از روش‌های دیگر نیز جزء ژنوتیپ‌های انتخابی بود (Sharifi *et al*., 2021). در تجزیه پایداری ۱۸ ژنوتیپ چغندرقند با استفاده از روش‌های چند متغیره AMMI, GGE biplot, BLUP, و MTSI، روش MTSI روش موثرتری شناخته شد (Taleghani *et al*., 2023). شاخص چند صفتی (MTSI) یک فرآیند گزینش منحصر به فرد، قوی و آسان است و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. این شاخص ابزار مناسبی برای توسعه راهبردهای گزینش بهتر و بهینه‌سازی استفاده از منابع و زمان محسوب می‌شود (Olivoto *et al*., 2021). از روش MTSI برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول با محتوای روغن متوسط تا بالا در آفتابگردان نیز استفاده شده است (Dudhe *et al*., 2023).

با توجه به کارایی شاخص چند صفتی (MTSI) در آزمایش حاضر با استفاده از این شاخص، پایداری ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. از ژنوتیپ‌های پایدار می‌توان در توسعه ارقام متحمل پرمحصول و پایدار استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش بذرهای ۱۰۰ لاین آفتابگردان دانه روغنی دریافت شده از مراکز تحقیقاتی مختلف جهان (جدول ۱) در دو آزمایش جداگانه آبیاری کامل (بدون تنش) و تنش خشکی (آبیاری محدود) در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ با دو تکرار در روستای قزلجه شهرستان سلماس با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی طی دو سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) در تاریخ ۱۸ اردیبهشت کاشته شدند. روستای قزلجه با توجه به گزارش‌های آب و هوایی، دارای مجموع بارندگی در سال آبی (مهر تا شهریور سال بعد) ۱۳۹۱-۱۳۹۲ برابر ۳۲۶/۷ و در سال آبی ۱۳۹۲ - ۱۳۹۳ برابر ۱۸۴/۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (https://en.climate-data.org/location/1784/). طول ردیف‌های کاشت پنج متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر و فاصله بین دو آزمایش پنج متر بود. در هر دو سال آزمایش، آبیاری تا مرحله هشت برگی بوته‌ها بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. پس از مرحله هشت برگی، کرت‌های بدون تنش تا انتهای دوره رشد به همین ترتیب و کرت‌های تنش خشکی بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A آبیاری شدند. کودهای فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و نیتروژن (از منبع اوره) به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک داده شدند. صفات گیاهی اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول و عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، سبزینگی برگ (با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی؛ SPAD502, Minolta, Japan)، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، قطر طبق، محتوای آب نسبی برگ، محتوای روغن دانه و عملکرد دانه بودند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

جدول ۱- شناسه و منشاء ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Identification code and origin of oilseed sunflower genotypes used in the experiment

کد Code	ژنوتیپ‌های آفتابگردان Sunflower genotypes	منشاء Origin	کد Code	ژنوتیپ‌های آفتابگردان Sunflower genotypes	منشاء Origin
1	H100A/83HR4	France, ASGROW	51	H250A/83HR4	France, ASGROW
2	H209A/LC1064	France, ASGROW	52	RHA265	U.S.A, USDA
3	H205A/H543R	France, ASGROW	53	PM1-3	U.S.A, USDA
4	AS5306	France, ENSAT	54	RT948	France, RUSTICA
5	RHA858	U.S.A, USDA	55	283-ENSAT	–
6	H209A/83HR4	France, ASGROW	56	QHP-1	France, INRAMONT
7	AS3211	France, ENSAT	57	SDR19	U.S.A, USDA
8	254-ENSAT	France, ENSAT	58	HA337B	U.S.A, USDA
9	AS5304	France, ASGROW	59	H100B	France, ASGROW
10	1009329.2(100K)	France, ENSAT	60	B454/03	Hungary
11	270-ENSAT	France, ENSAT	61	HA304	U.S.A, USDA
12	AS613	France, ASGROW	62	RT931	France, RUSTICA
13	A-FLPOPA	France, NOVARTIS	63	HA335B	U.S.A, USDA
14	OES	France, INRAMONT	64	NS_B5	France, NOVARTIS
15	H100A/LC1064	France, ASGROW	65	SDB3	U.S.A, USDA
16	RHA266	U.S.A, USDA	66	LC1064C	France, ASGROW
17	PAC2	France, ENSAT	67	NS-R5	France, NOVARTIS
18	H157/LC1064	France, ASGROW	68	DM-2	U.S.A, USDA
19	5DES20QR	France, BRN	69	H156A/RHA274	France, ASGROW
20	15038	France, ENSAT	70	SDB1	U.S.A, USDA
21	1009337(100K)	France, ENSAT	71	HAR-4	U.S.A, USDA
22	AS3232	France, ASGROW	72	AS5305	France, ASGROW
23	12AASB3	France, ASGROW	73	RHA274	U.S.A, USDA
24	8ASB2	France, ASGROW	74	H158A/H543R	France, ASGROW
25	9CSA3	France, Caussade semences	75	H100A/RHA274	France, ASGROW
26	H049+FSB	France	76	H209A/H566R	France, ASGROW
27	SSD-580	France, ASGROW	77	ASO-1-POP-A	France, ENSAT
28	5AS-F1/A2*R5AS-29- F1/A2*R2	France, ASGROW	78	AS6305	France, ENSAT
29	7CR1=PRH6	France, C.F	79	B-FIPOPB	France, NOVARTIS
30	ENSAT699	France, ENSAT	80	D34	U.S.A, USDA
31	SSD-581	France, ASGROW	81	CAY	France, ENSAT
32	TMB-51	France, INRAMONT	82	346	Iran, SPII
33	11*12	Iran, SPII	83	$NS\text{-}F_1\text{-}A_5*R_5$	France, NOVARTIS
34	110	Iran, SPII	84	36	Iran, SPII
35	H603R	France, INRAMONT	85	38	Iran, SPII
36	4	Iran, SPII	86	SDB2	France, INRAMONT
37	703-CHLORINA	France, ENSAT	87	H158A/LC1064	-
38	$NSF_1\text{-}A_4*R_5$	France, NOVARTIS	88	H156A/H543R	France, ASGROW
39	28	Iran, SPII	89	H543R/H543R	France, ASGROW
40	30	Iran, SPII	90	H543R	France
41	F1250/03	Hungary	91	SF076	France, ENSAT
42	SDR18	U.S.A, USDA	92	B-FIPOPB	
43	LP-SCYB	France, ENSAT	93	SF085	France, ENSAT
44	803-1	Serbia, IFVC	94	SF092	–
45	1009370-1(100K)	France, ENSAT	95	A-CONTROLPLASTIPIC	-
46	CSWW2S	France, Caussade semences	96	59-1	Iran, SPII
47	1009370-3(100K)	France, ENSAT	97	H-100A-90RL8	
48	H158A/H543R	France, ASGROW	98	SF109	France, ENSAT
49	H100A	France, ASGROW	99	SF105	France, ENSAT
50	15031	France, ASGROW	100	SF-023	–

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

تجزیه واریانس چند متغیره برای بررسی آثار اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط انجام شد. بعد از تجزیه واریانس، برآورد برخی پارامترهای ژنتیکی صفات به روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML) انجام شد. از آزمون نسبت درست‌نمایی جهت بررسی معنی‌داری آثار استفاده شد. در تجزیه و تحلیل پایداری، ابتدا شاخص WAASB محاسبه شد. این شاخص میانگین وزنی امتیازات مطلق حاصل از تجزیه مقادیر منفرد ماتریس BLUPها برای برهمکنش ژنوتیپ و محیط (Olivoto *et al.*, 2019a) برای هر ژنوتیپ است (رابطه ۱):

$$\mathrm{WAASB}_i = \sum_{K=1}^{P} \frac{|IPCA_{iK} \times EP_K|}{\sum_{K=1}^{P} EP_K} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

WAASBi میانگین وزنی امتیاز مطلق ژنوتیپ iاُم، IPCAik امتیاز ژنوتیپ iاُم در kاُمین محور مؤلفه اصلی متقابل (IPCA) و EP_k مقدار واریانس توجیه شده توسط kاُمین IPCA هستند. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019a). در مرحله بعد در گزینش برای MPE، WAASBY با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\mathrm{WAASBY_i} = \frac{(\mathrm{rG_i} \times \theta_Y) + (\mathrm{rW_i} \times \theta_S)}{\theta_Y + \theta_S} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

WAASBYi نمایه برتری ژنوتیپ i و θY و θS به ترتیب وزن‌های عملکرد و پایداری (WAASB) هستند (Olivoto *et al.*, 2019b). در بسیاری از آزمایش‌ها، این وزن‌ها برابر هم و مساوی ۵۰ در نظر گرفته می‌شوند. rGi و rWi مقادیر مقیاس‌بندی شده (بین صفر تا ۱۰۰) برای عملکرد و WAASB هستند. با توجه به اینکه بهترین مقادیر برای عملکرد و WAASB به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر هستند، تبدیل مقادیر با استفاده از رابطه‌های زیر انجام می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019b). بالاترین مقادیر WAASBY نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های پایدار هستند.

$$\mathrm{rG_i} = \frac{100-0}{\mathrm{G_{max}} - \mathrm{G_{min}}} \times (\mathrm{G_i} - \mathrm{G_{max}}) + 100 \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

$$\mathrm{rW_i} = \frac{0-100}{\mathrm{W_{max}} - \mathrm{W_{min}}} \times (\mathrm{W_i} - \mathrm{W_{max}}) + 0 \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

با تحلیل عاملی اکتشافی روی جدول دو طرفه rXij (شاخص WAASBY مربوط به j صفت در i ژنوتیپ)، گروه‌بندی صفات همبسته با عوامل و سپس تخمین نمرات فاکتوریل برای هر ژنوتیپ با استفاده از رابطه ۵ بدست آمد:

$$X = \mu + Lf + \varepsilon \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

X بردار p×1 مشاهدات فنوتیپی، m بردار p×1 میانگین‌ها، L یک ماتریس p×f از بارهای عاملی، f بردار p×1 عوامل مشترک و e بردار p×1 باقیمانده‌ها هستند. حروف p و f به ترتیب تعداد صفات و عوامل مشترک حفظ شده می‌باشند. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی جدول دو طرفه به دست آمدند. بارگذاری اولیه تنها با در نظر گرفتن فاکتورهای با مقادیر ویژه 1< انجام شد. معیار چرخش واریماکس استفاده شد. چرخش تحلیلی و تخمین بارگذاری نهایی امتیازات برای ژنوتیپ‌ها بااستفاده از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$F = Z(A^T R^{-1})^T \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

F یک ماتریس g×f (g تعداد ژنوتیپ‌ها و f تعداد فاکتورها)، Z یک ماتریس g×p با میانگین استاندارد شده ((WAASBY) Weighted average of WAASB and response variable)، A یک ماتریس p×f از بارهای متعارف و R یک ماتریس همبستگی p×p بین متغیرها هستند.

شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد:

$$MTSI_i = \left[\sum_{j=1}^{f} \left(F_{ij} - F_j\right)^2\right]^{0.5} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

MTSI شاخص پایداری چند صفتی برای ژنوتیپ iاُم، Fij، نمره jاُم ژنوتیپ iاُم و F_j نمره jامین ژنوتیپ مطلوب (ایدئوتیپ) هستند. ژنوتیپ با کمترین MTSI به حالت مطلوب نزدیک‌تر بوده و بنابراین MPE بالایی را برای کلیه متغیرهای مورد تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

برای تجزیه واریانس و محاسبه شاخص پایداری MTSI از بسته metan (Multi environment trial analysis) نرم‌افزار R 4.2.0 استفاده شد (Olivoto *et al*., 2019b).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقادیر آماره آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) بین ژنوتیپ‌های آفتابگردان در اکثر صفات مورد مطالعه و بین محیط‌ها در برخی از صفات معنی‌دار بوده و بنابراین وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و نیز تأثیرپذیری متفاوت آنها از شرایط محیطی (آبیاری کامل و تنش خشکی) تأیید می‌شود. آماره حداکثر و حداقل صفات در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار ضریب تبیین ژنوتیپ و محیط و نیز آماره همبستگی ژنوتیپ و محیط برای غالب صفات مورد ارزیابی بالا بود (جدول ۳) که این موضوع نشان دهنده وجود برهمکنش ژنوتیپ و شرایط محیطی است. در آزمایش حاضر با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML) (جدول ۳)، برای پنج صفت محتوای روغن دانه، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، روز تا گلدهی و طول برگ، وراثت‌پذیری بالایی مشاهده شد. بیشترین وراثت‌پذیری و وراثت‌پذیری بر پایه میانگین ژنوتیپ‌ها در صفت محتوای روغن دانه و کمترین آن در محتوای آب نسبی برگ مشاهده شد. بنابراین گزینش برای صفات ذکر شده (با مقدار وراثت‌پذیری بالا) در شرایط محیطی مورد مطالعه احتمالاً با پیشرفت ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای همراه خواهد بود و این نتایج با مقادیر بالای دقت گزینش (جدول ۳) که در این تحقیق بدست آمده است مطابقت دارد. نتایج مشابهی توسط پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al*., 2023b) در جو و قلی‌نژاد و درویش‌زاده (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018) در آفتابگردان نیز گزارش شده است.

جدول ۲- مقادیر حداکثر و حداقل برای صفات گیاهی ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 2. Maximum and minimum amounts of plant traits of sunflower genotypes

Plant traits	صفات گیاهی	حداقل Minimum	حداکثر Maximum
Leaf length (cm)	طول برگ	9.473	18.556
Leaf width (cm)	عرض برگ	8.046	17.253
Petiole length (cm)	طول دمبرگ	5.137	10.367
No. of leaves	تعداد برگ	9.400	24.567
Stem diameter (cm)	قطر ساقه	3.108	5.754
Head diameter (cm)	قطر طبق	7.180	14.733
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	68.826	121.76
SPAD value	سبزینگی برگ	31.985	46.413
Days to flowering	روز تا گلدهی	61.015	79.045
Days to maturity	روز تا رسیدگی	89.062	121
Relative water content (%)	محتوای آب نسبی	48.317	77.737
Seed oil content (%)	محتوای روغن دانه	36.824	52.900
Seed yield (g)	عملکرد دانه	8.796	43.198

برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه مطلوب آفتابگردان و مطلوب در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، با در نظر گرفتن همزمان کلیه صفات مورد مطالعه، ابتدا تجزیه عاملی انجام شد و چهار عامل با مقادیر ویژه بیش از یک شناسایی شدند (جدول ۴) که در مجموع ۶۶/۲ درصد از کل تغییرات در مجموعه داده‌هارا توجیه کردند و بنابراین امکان کاهش ابعاد داده‌ها وجود داشت و ۱۳ صفت گیاهی مورد مطالعه در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

جدول ۳- برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات گیاهی ژنوتیپ‌های آفتابگردان با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده

Table 3. Estimation of genetic parameters of plant traits of sunflower genotypes using restricted maximum likelihood (REML) method

Resources	منابع	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ No. of leaves	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	طول دمبرگ Petiole length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	شاخص سبزینگی SPAD value
Phenotypic variance	واریانس فنوتیپی	472	25.10	12.5	41.1	6.75	1.41	30
Broad-sense heritability	وراثت‌پذیری عمومی	0.22	0.16	0.17	0.14	0.09	0.13	0.18
Coefficient of explanation of the effect of environment on genotype	ضریب تبین اثر محیط در ژنوتیپ	0.20	0.22	0.18	0.20	0.21	0.20	0
Heritability based on the average genotype	وراثت‌پذیری بر پایه میانگین ژنوتیپ	0.80	0.69	0.74	0.66	0.64	0.67	0.66
Accuracy	دقت	0.89	0.83	0.86	0.81	0.80	0.82	0.81
r_{ge}		0.33	0.29	0.26	0.26	0.27	0.26	0
Genotypic coefficient of variation	ضریب تغییرات ژنوتیپی	9.86	11.90	9.70	10.90	9.58	9.66	5.83
Coefficient of variation of residual values	ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده	10	16.70	12.60	17	15.50	14.80	11.90
Ratio of genotypic coefficient of variation to coefficient of variation of residual values	نسبت ضریب تغییرات ژنوتیپی به ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده	0.98	0.71	0.77	0.64	0.62	0.65	0.49

جدول ۳- ادامه

Table 3. Continued

Resources	منابع	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی Days to maturity	قطر طبق Head diameter (cm)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	محتوای روغن دانه Seed oil content (%)	عملکرد دانه Seed yield (g)
Phenotypic variance	واریانس فنوتیپی	36.3	40.9	12.8	158	17.8	668
Broad-sense heritability	وراثت‌پذیری عمومی	0.21	0.32	0.10	0.02	0.68	0.10
Environmental coefficient of variation in genotype	ضریب تبین اثر محیط در ژنوتیپ	0.04	0.09	0.53	0.06	0.16	0.12
Heritability based on the genotypic mean	وراثت‌پذیری بر پایه میانگین ژنوتیپ	0.79	0.82	0.48	0.20	0.95	0.56
Precision	دقت	0.89	0.90	0.70	0.45	0.97	0.75
rge		0.06	0.14	0.63	0.06	0.80	0.14
Genotypic coefficient of variation	ضریب تغییرات ژنوتیپی	3.78	3.43	9.42	2.62	7.48	25.60
Coefficient of variation of residuals	ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده	5.13	4.01	13.10	13.90	1.68	55.60
Ratio of genotypic coefficient of variation to coefficient of variation of residuals	نسبت ضریب تغییرات ژنوتیپی به ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده	0.74	0.86	0.72	0.19	4.45	0.46

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

چهار گروه به صورت زیر گروه‌بندی شدند. گروه اول شامل عرض برگ (۰/۸۳۹-)، قطر طبق (۰/۸۳۷-)، قطر ساقه (۰/۸۰۷-)، عملکرد دانه (۰/۷۹۴-)، طول برگ (۰/۷۵۸-) و طول دمبرگ (۰/۶۷۱-)، گروه دوم شامل روز رسیدگی (۰/۸۱۲-)، روز تا گلدهی (۰/۷۹۴-) و محتوای آب نسبی برگ (۰/۶۳۲)، گروه سوم شامل تعداد برگ در بوته (۰/۷۳۲)، شاخص سبزینگی (۰/۶۲۶) و ارتفاع بوته (۰/۵۸۴) و گروه چهارم شامل محتوای روغن دانه (۰/۸۹۹-) بودند. اگرچه اکثر صفات در عامل‌ها دارای ضرایب منفی بودند، ولی صفات مرتبط با ویژگی‌های فنولوژیک شامل روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی و نیز عملکرد دانه و محتوای روغن دانه در عامل‌های سوم و چهارم دارای ضرایب مثبت و بالا بودند. یکی از مزیت‌های MTSI نسبت به تجزیه‌های آماری مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی این است که از مقادیر کلیه مؤلفه‌ها در گروه‌بندی تیمارهای مورد مطالعه استفاده می‌شود. برای مثال اطلاعات مؤلفه‌های سوم و چهارم نیز در آزمایش حاضر استفاده شده و بنابراین دقت و راندمان انتخاب تیمار بالا خواهد بود (Olivoto *et al*., 2019b). نتایج تجزیه عاملی نشان داد که میانگین میزان اشتراک صفات برابر ۰/۶۶۲ بود (جدول ۴).

جدول ۴- میزان اشتراک و اثر هر صفت در هر چهار عامل اول در ژنوتیپ‌های آفتابگردان در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی

Table 4. Degree of communality and effect of each trait in each of the first four factors in sunflower genotypes under full irrigation and drought stress treatments

Plant traits	صفات گیاهی	واریانس Variance	میزان اشتراک Communality	Loading factor بار عاملی: عامل اول FA1	عامل دوم FA2	عامل سوم FA3	عامل چهارم FA4
Leaf length (cm)	طول برگ	0.243	0.757	-0.758	-0.356	0.0723	-0.225
Leaf width (cm)	عرض برگ	0.243	0.757	-0.839	-0.163	0.155	-0.0482
Petiole length (cm)	طول دمبرگ	0.459	0.541	-0.671	-0.245	-0.154	-0.0856
No. of leaves	تعداد برگ	0.393	0.607	-0.0638	-0.109	0.732	-0.236
Stem diameter (cm)	قطر ساقه	0.299	0.701	-0.807	0.0066	0.223	-0.00342
Head Diameter (cm)	قطر طبق	0.275	0.725	-0.837	0.151	-0.0043	0.0456
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	0.431	0.569	-0.362	-0.22	0.584	-0.221
SPAD value	سبزینگی برگ	0.566	0.434	0.00434	0.0297	0.626	0.203
Days to flowering	روز تا گلدهی	0.238	0.762	-0.122	-0.794	0.319	0.125
Days to maturity	روز تا رسیدگی	0.281	0.719	-0.0196	-0.812	0.183	0.157
Relative water content (%)	محتوای آب نسبی	0.493	0.507	-0.0205	0.632	0.264	0.194
Seed oil content (%)	محتوای روغن دانه	0.175	0.825	-0.0513	0.0917	0.0741	-0.899
Seed yield (g)	عملکرد دانه	0.296	0.704	-0.794	0.224	0.136	0.0668
Eigen values	مقادیر ویژه			4.22	2.02	1.31	1.05
Percentage of explained variance	درصد واریانس توجیه شده			32.4	15.6	10.1	8.11
Cumulative percentage of explained variance	درصد تجمعی واریانس توجیه شده			32.4	48	58.1	66.2

در این تحقیق، کمترین مقدار دیفرانسیل انتخاب برای شاخص WAASBY (۰/۰۳۷۷ درصد) (شاخصی که نشان دهنده پایداری و مطلوبیت متغیر مورد مطالعه می‌باشد) برای محتوای روغن دانه و بیشترین مقدار آن (۲۲/۱ درصد) برای عرض برگ، با میانگین کلی ۵۵/۶ مشاهده شد (جدول ۵). در ارزیابی ۲۸ ژنوتیپ آفتابگردان به منظور گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول با محتوای روغن متوسط تا بالا، شش ژنوتیپ پایدار GMU-494، LTRR-341، EC-601901، GMU-481، GMU-249 و GMU-934 که دارای ارزش WAASB

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

کمتری بودند، به عنوان ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار شناخته شدند. به طور مشابه، برای محتوای روغن دانه، GMU-494 (۰/۱۲) پایدارترین و به‌دنبال آن (۰/۱۴) IB-228، EC-601901 (۰/۲۰) و GMU-481 (۰/۳۹) معرفی شدند (Dudhe *et al.*, 2023). با توجه به مثبت بودن دیفرانسیل انتخاب برای شاخص WAASBY برای کلیه صفات، این روش برای گزینش ژنوتیپ‌های با صفات نزدیک به ژنوتیپ مطلوب و پایداری بالا، کارآمد است. گزارش‌های مشابهی از مثبت بودن دیفرانسیل انتخاب WAASBY برای صفات مورد مطالعه در کاساوا، کرچک و ذرت وجود دارد (Koundiny *et al.*, 2021; Memon *et al.*, 2023; Subramani *et al.*, 2024). در یک آزمایش روی آفتابگردان، دیفرانسیل انتخاب WAASBY مثبت برای صفات عملکرد دانه و روزهای تا ۵۰ درصد گلدهی و همچنین برای روزهای تا رسیدگی و محتوای روغن دانه گزارش و اظهار شد که مثبت بودن WAASBY صفات یاد شده، نشان دهنده کارایی شاخص MTSI در گزینش همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری عملکرد دانه، روزهای تا رسیدگی و محتوای روغن دانه است (Dudhe *et al.*, 2023). شاخص MTSI، دیفرانسیل انتخاب با فراوانی موفقیت‌آمیز ۸۴/۶۱ درصد را در گزینش ۱۱ صفت از ۱۳ صفت مورد ارزیابی را نشان داد. دو صفت محتوای روغن دانه و محتوای آب نسبی برگ به‌ترتیب دارای دیفرانسیل انتخاب نامطلوب ۰/۲۴۱- و ۰/۱۰۷- بودند. دیفرانسیل انتخاب برای صفات بین ۰/۵۱۸- درصد برای محتوای روغن دانه تا ۲۸/۳ درصد برای صفت عملکرد دانه بود. بر این اساس به‌نظر می‌رسد که در محیط‌های مورد ارزیابی بین ژنوتیپ‌ها در صفت عملکرد دانه تنوع بالایی نسبت به سایر صفات وجود داشت. این موضوع نشان دهنده برهمکنش‌های ژنوتیپ و محیط می‌باشد. بنابراین برای شناسایی دقیق ژنوتیپ‌ها، توجه به میزان وراثت‌پذیری صفات حائز اهمیت است (Olivoto *et al.*, 2019a; Benakanahalli *et al.*, 2021). دوده و همکاران (Dudhe *et al.*, 2023) بیشترین درصد دیفرانسیل گزینش را برای صفات عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه گزارش کردند.

جدول ۵- دیفرانسیل انتخاب شاخص WAASBY برای صفات گیاهی ژنوتیپ‌های آفتابگردان در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی

Table 5. Differential selection of WAASBY index for plant traits of sunflower genotypes under full irrigation and drought stress treatments

Plant traits	صفات گیاهی	عامل Factor	میانگین کل Total mean	میانگین ژنوتیپ‌های گزینش شده Mean of selected genotypes	دیفرانسیل گزینش Selection differential	درصد دیفرانسیل گزینش Selection differential (%)
Leaf length (cm)	طول برگ	اول	49.5	60.1	10.6	21.4
Leaf width (cm)	عرض برگ	اول	55.6	67.9	12.3	22.1
Petiole length (cm)	طول دمبرگ	اول	46.6	53.8	7.18	15.4
Stem diameter (cm)	قطر ساقه	اول	45.7	54.7	8.99	19.7
Head diameter (cm)	قطر طبق	اول	57.1	68.8	11.7	20.5
Seed yield (g)	عملکرد دانه	اول	52.1	62.6	10.5	20.2
Days to flowering	روز تا گلدهی	دوم	59.8	65.9	6.12	10.2
Days to maturity	روز تا رسیدگی	دوم	47.1	52	4.84	10.3
Relative water content (%)	محتوای آب نسبی	دوم	56.7	57.7	1	1.76
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	سوم	51.5	62.3	10.8	20.9
No. of leaves	تعداد برگ	سوم	60.8	68.5	7.64	12.6
SPAD value	سبزینگی برگ	سوم	52.8	64.2	11.4	21.7
Seed oil content (%)	محتوای روغن دانه	چهارم	66.6	66.6	0.0251	0.0377

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

بیشترین وراثت‌پذیری با ۹۴ درصد برای محتوای روغن دانه و بعد از آن به‌ترتیب برای روز تا رسیدگی (۸۱ درصد)، ارتفاع بوته (۷۹ درصد) و روز تا گلدهی (۷۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۶). اختلاف در میانگین کل گزارش شده در دو جدول‌های ۵ و ۶ به‌ترتیب مربوط به شاخص WAASBY و شاخص MTSI هستند. شاخص WAASBY میانگین استاندارد شده است و مقادیر بالای آن نشان دهنده مطلوب بودن ژنوتیپ است، اما با توجه به فرمول شاخص پایداری MTSI اعداد حاصل، نتیجه مجموع تفاضل هر ژنوتیپ از ژنوتیپ مطلوب می‌باشد. کوچک بودن تفاضل هر ژنوتیپ از ژنوتیپ مطلوب نشان دهنده نزدیک بودن ژنوتیپ به ژنوتیپ مطلوب است. یکی از مزیت‌های روش MTSI بخش گرافیکی آن و استفاده از آن برای گزینش همزمان بر اساس چند صفت، با در نظر گرفتن پایداری آنها و نیز ژنوتیپ مطلوب می‌باشد. در این رابطه، در نمودار شاخص MTSI بدست آمده در آزمایش حاضر، دایره قرمز، نشان دهنده نقطه برش بر اساس شدت گزینش (بطور معمول ۲۰ درصد) می‌باشد که معیاری برای گزینش است. نتایج شاخص چندگانه پایداری (MTSI) نشان داد که ۱۵ ژنوتیپ (به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۸ (ENSAT-254)، ۵۷ (SDR19)، ۴۹ (H100A)، ۹۴ (SF092)، ۸۱ (CAY)، ۱۳ (A-FLPOPA)، ۵ (RHA858)، ۲۲ (AS3232)، ۵۸ (HA337B)، ۳۰ (ENSAT699)، ۴۷ (1009370-(100K)3)، ۶۷ (NS-R5)، ۶۸ (DM-2)، ۲۶ (H049+FSB) و ۹۱ (SF076)) ژنوتیپ‌های پایدار با صفات نزدیک به ژنوتیپ مطلوب هستند (شکل ۱) و میانگین ژنوتیپ‌های یاد شده در کلیه صفات بر میانگین جمعیت مورد مطالعه برتری دارد. بنابراین، ژنوتیپ‌های منتخب با شاخص پایداری MTSI از نظر مجموع صفات از وضعیت بهتری نسبت به میانگین جمعیت برخوردار هستند (جدول ۷). استفاده از MTSI در گزینش لاین‌های با میانگین عملکرد دانه بالا در سایر گیاهان مانند نخود، جو، گوار، برنج و عدس موفقیت‌آمیز گزارش شده است (Pezeshkpour and Karimizadeh, 2023; Pour-Pour-Aboughadareh *et al*., 2023a; Benakanahalli *et al*., 2021; Sharifi *et al*., 2021; Namdari *et al*., 2022). در آزمایش حاضر از میان ژنوتیپ‌های شناسایی شده با شاخص پایداری MTSI، ژنوتیپ ۸ (ENSAT-۲۵۴) در هفت صفت طول برگ، طول دمبرگ، عملکرد دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و تعداد برگ، بالاترین میانگین را داشته و همچنین در نمودار رتبه‌بندی، از کمترین مقدار برخوردار بود (شکل ۱) و در واقع کمترین مقدار شاخص پایداری MTSI را داشته و بنابراین پایدارترین ژنوتیپ محسوب می‌شود (جدول ۶). ژنوتیپ ۷۶، ۴۵، ۲۳، ۷۹ و ۵۳ جزء ژنوتیپ‌های غیر انتخابی بودند که روی دایره برش قرار داشته و می‌توان از آنها در آزمایش‌های آتی ارزیابی عملکرد دانه، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متفاوت بوده و این موضوع با استفاده از مدل خطی مخلوط و مقادیر آماره حداکثر درست نمایی مشاهده شد. بر خلاف روش‌های معمول آماری، شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) با در نظر گرفتن همزمان کلیه صفات مورد ارزیابی و نیز پایدار بودن آنها در شرایط مختلف آزمایشی نتایج قریب به واقعیتی را ارائه کرد که این موضوع با نتایج سایر تحقیقات نیز مطابقت داشت (Olivoto *et al*., 2021; Taleghani *et al*., 2023). بر اساس شاخص پایداری چند صفتی ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان به عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب شدند و از بین آنها ژنوتیپ ۸ ((ENSAT-254)) پایدارترین ژنوتیپ در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی کم آبی بوده و اکثر ویژگی‌های زراعی آن نیز نزدیک به ژنوتیپ مطلوب بود.

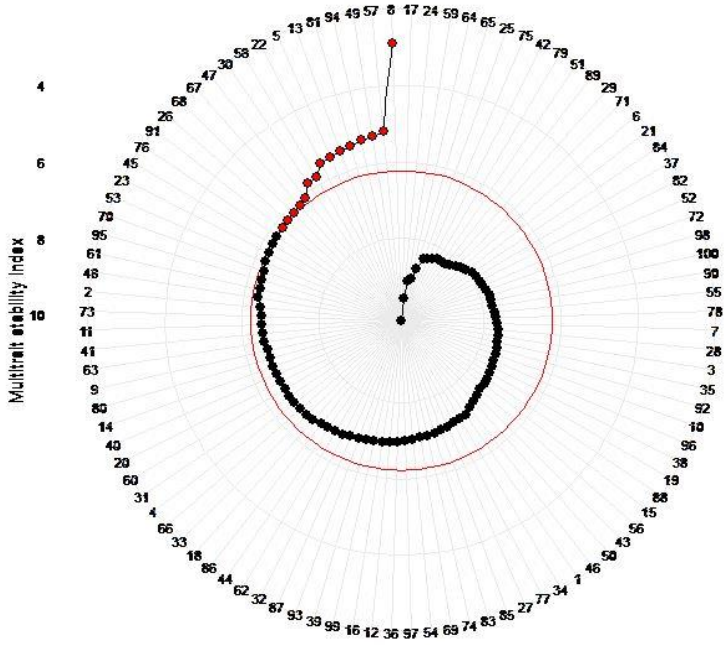
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

جدول **Error! No text of specified style in document.**– آماره‌های **Error! No text of specified style in document.**توصیفی اجزای تشکیل دهنده چهار عامل با مقادیر ویژه بیشتر از یک با شاخص پایداری MTSI در ژنوتیپ‌های آفتابگردان در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی

Table 6. Descriptive statistics of components of 4 factors with eigenvalues greater than one with MTSI stability index in sunflower genotypes under full irrigation and drought stress treatments

Plant traits	صفات گیاهی	عامل Factor	میانگین کل Total mean	میانگین ژنوتیپ‌های گزینش شده Mean of selected genotypes	دیفرانسیل گزینش Selection differential	درصد دیفرانسیل گزینش Selection differential (%)	وراثت‌پذیری Heritability
Leaf length (cm)	طول برگ	اول	15.2	16.5	1.27	8.32	0.735
Leaf width (cm)	عرض برگ	اول	12.9	14.5	1.65	12.8	0.660
Petiole length (cm)	طول دمبرگ	اول	7.96	8.70	0.737	9.25	0.638
Stem diameter (cm)	قطر ساقه	اول	4.45	4.98	0.531	11.9	0.668
Head diameter (cm)	قطر طبق	اول	11.9	13.3	1.34	11.3	0.483
Seed yield (g)	عملکرد دانه	اول	31.7	40.7	8.98	28.3	0.560
Days to flowering	روز تا گلدهی	دوم	72.1	74.1	1.98	2.74	0.793
Days to maturity	روز تا رسیدگی	دوم	105	107	2.38	2.27	0.816
Relative water content (%)	محتوای آب نسبی	دوم	66.8	66.7	-0.107	-0.160	0.201
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	سوم	104	115	10.5	10.1	0.797
No. of leaves	تعداد برگ	سوم	16.5	17.9	1.35	8.15	0.690
SPAD value	سبزینگی برگ	سوم	39.4	41.1	1.71	4.33	0.659
Seed oil content (%)	محتوای روغن دانه	چهارم	46.5	46.3	-0.241	-0.518	0.945

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]



شکل ۱- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان و ژنوتیپ‌های گزینش شده براساس شاخص پایداری چند صفتی در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی (شدت گزینش: ۲۰ درصد)

Fig. 1. Ranking of sunflower genotypes and selected genotypes based on multi-trait stability index (MTSI) under full irrigation and drought stress treatments

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

جدول ۷- ژنوتیپ‌های گزینش شده بر اساس شاخص پایداری چند صفتی و میانگین اثر هر صفت در ژنوتیپ‌های منتخب آفتابگردان در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی

Table 7. Selected genotypes based on multi-trait stability index (MTSI) and mean effect of each trait in selected sunflower genotypes under normal irrigation and drought stress treatments

ژنوتیپ‌های منتخب آفتابگردان Selected sunflower genotypes	سبزینگی برگ SPAD value	روغن دانه Seed oil content (%)	تعداد برگ No. of leaves	ارتفاع بوته Plant height (cm)	محتوای آب نسبی RWC (%)	روزتا رسیدگی Days to maturity	روزتا گلدهی Days to flowering	عملکرد دانه Seed yield (g)	قطر طبق Head diameter (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	طول دمبرگ Petiole length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	طول برگ Leaf length (cm)
5	38.3	47.1	18.6	117.4	65.7	104.4	71.5	43.2	15.9	4.9	7.8	13.4	16.3
8	43.4	47.5	23.7	134.7	65.6	126.9	80.9	61.0	15.0	5.8	11.3	17.1	20.2
13	38.7	49.5	19.0	120.1	62.7	106.8	75.2	30.3	12.3	4.8	8.1	15.2	17.6
22	40.0	49.5	18.1	105.6	64.3	107.0	73.9	48.4	14.7	6.7	8.5	15.7	17.7
26	40.9	48.8	19.3	116.5	65.4	110.4	75.7	45.9	14.3	5.4	8.8	15.1	17.6
30	41.0	49.9	17.8	118.4	71.0	106.6	73.5	39.1	12.6	4.7	7.4	13.8	15.9
47	38.9	41.7	20.5	117.9	67.1	105.4	72.7	21.7	10.2	5.1	7.2	17.6	17.6
49	40.6	45.9	19.7	114.1	68.3	104.7	72.1	51.5	12.7	5.4	10.0	14.5	16.9
57	39.6	43.0	16.9	125.6	65.7	107.2	74.5	57.1	14.1	5.1	8.4	14.4	16.6
58	36.7	42.4	16.7	108.7	74.5	109.4	76.8	39.3	12.8	4.9	8.7	41.2	15.2
67	38.3	41.9	15.2	109.3	64.2	104.4	71.4	44.2	12.3	5.3	10.6	16.9	17.8
68	42.8	46.7	15.8	104.4	65.8	103.7	70.7	47.0	13.2	4.7	8.7	13.0	15.2
81	43.0	45.2	18.4	114.2	61.4	111.1	77.8	26.9	12.8	4.8	8.1	12.5	15.6
91	37.0	52.4	15.8	98.6	71.9	107.2	74.4	37.5	13.5	4.4	9.0	13.5	14.6
94	46.2	44.4	15.6	117.6	66.1	113.0	77.4	44.3	11.9	4.5	8.0	15.0	15.2

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ارومیه برای مساعدت‌های مالی برای اجرای آزمایش حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Bapela, T., Shimelis, H., Tsilo, T.J., and Mathew, I. 2022. Genetic improvement of wheat for drought tolerance: Progress, challenges and opportunities. *Plants*, 11(10), 1331. https://doi.org/10.3390/plants11101331

Benakanahalli, N.K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A.M.M., Elansary, H.O., and Abdelmohsen, S.A.M 2021. A framework for identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: an example in guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, 11(6), pp.1221. https://doi.org/10.3390/agronomy11061221

Dabbour, I.R., Al-Ismail, K.M., Takruri, H.R., and Azzeh, F.S. 2014. Chemical characteristics and antioxidant content properties of cold pressed seed oil of wild milk thistle plant grown in Jordan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(2), pp.67–78. https://doi.org/10.3923/pjn.2014.67.78

Dudhe, M.Y., Jadhav, M.V., Sujatha, M., Meena, H.P., Rajguru, A.B., Gahukar, S.J., and Ghodke, M.K. 2023. WAASB-based stability analysis and validation of resistance sources to *Plasmopara halstedii* race-100 from the sunfower working germplasm for the semi-arid regions of India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, pp.1435-1452. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2425019/v1

Enyew, M., Feyissa, T., Geleta, M., Tesfaye, K., Hammenhag, C., and 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

Gholinezhad, E., and Darvishzadeh, A. 2018. Estimation of variance components and heritability of grain yield and yield components in confectionary sunflower landraces in different levels of irrigation. *Plant Production*, 41(2), pp.29-40. [In Persian]. doi: 10.22055/ppd.2017.19226.1383

Grant, O.M. 2012. Understanding and Exploiting the Impact of Drought Stress on Plant Physiology. *In:* Ahmad. P., and Prasad, M.N.V. Abiotic Stress Rosponses in Plants, Mtabolism, Productivity and Sustainability. Springer, New York. NY, pp.89-104. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0634-1_5

Koundiny, A.V.V., Ajeesh, B.R. Hegde, V., Sheela, M.N., Mohan, C., and Asha, K.I. 2021. Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. *Scientia Horticulturae*, 281(2021), 109949. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109949

Lee, S.Y., Lee, H-S., Lee, C-M., Ha, S-K., Park, H-M., Lee, S-M., Kwon, Y, Jeung, J.-U., and Mo, Y. 2023. Multi-environment trials and stability analysis for yield-related traits of commercial rice cultivars.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

Agriculture, 13, pp.256. https://doi.org/10.3390/agriculture13020256

Mohammadi, T., Azizi, M.H., and Taslimi, A. 2007. Relation of fatty acids composition with stability of sunflower and canola oil blends. *Journal of Food Science and Technology*, 4(13), pp.67-76. [In Persian].

Memon, J., Patel, R., Parmar, D.J., Kumar, S., Patel, N.A., Patel, B.N., Patel, D.A., and Katba, P. 2023. Deployment of AMMI, GGE-biplot and MTSI to select elite genotypes of castor (*Ricinus communis* L.). *Heliyon*, 9(2023), e13515. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13515

Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., and Vaezi, B. 2022. Evaluation of genotype× environment interaction using WAASB and WAASBY indices in multi-environment yield trials of rainfed lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 24(2), 165-180. [In Persian]. doi: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8

Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A, Marchioro, V.S, de Souza, V.Q., and Jost, E. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2949-2960. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220

Olivoto, T., Lucio, A.D.C, da Silva, J.A.G., Sari, B.G., and Diel, M.I. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111 (6), pp. 2961–2969. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221

Olivoto, T., Nardino, M., Meira, D., Meier, C., Follmann, D.N., de Souza, V.Q., Valmor A. Konflanz, V.A., and Diego Baretta7, D. 2021. Multi-trait selection for mean performance and stability in maize. *Agronomy Journal*, 2021; 113, pp.3968–3974. https://doi.org/10.1002/agj2.20741

Pezeshkpour, P., and Karimizadeh, R. 2023. Evaluation of the mean performance and stability of chickpea genotypes by integration AMMI and BLUP models and selection based on Multi-Trait Stability Index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 15(46), pp.73-83. [In Persian]. doi: 10.61186/jcb.15.46.73

Pour-Aboughadareh, A., Barati, A., Zali, H., Koohkan, S.A., Hosseinpour, A., Gholipoor, A., and Marzoghian, A. 2023a. Analysis of genotype-by-environment interaction in advanced genotypes of barley using AMMI and BLUP-based indices. *Journal of Crop Breeding*, 15(45), pp.1-10 [In Persian]. dor: 20.1001.1.22286128.1401.15.45.1.3

Pour-Aboughadareh, A., Zali, H., Gholipour, A., Koohkan, S., Barati, A., Jabari, M., Kheirgo, M., and Marzoghiyan, A. 2023b. Selection of barley superior promising lines using selection indexes of multi-trait. *The Journal of* ***Agricultural Science and Sustainable Production*****,** 33(3), pp.1-16. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/saps.2021.49073.2773

Rauf, S., Jamil, N., Tariq, S.A., Khan, M., Kausar, M., and Kaya, Y. 2017. Progress in modification of sunflower oil to expand its industrial value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(7), pp.1997–2006. https://doi.org/10.1002/jsfa.8214

Rauf, S. 2019. Breeding Strategies for Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genetic Improvement. *In:* Al-Khayri,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]

J., Jain, S., and Johnson, D. (Eds). Advances in Plant Breeding Strategies. Industrial and Food Crops. Springer, pp.637-673. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_16

Rauf, S., Ortiz, R., Shehzad, M., Haider, W., and Ahmed, I. 2020. The exploitation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed and other parts for human nutrition, medicine and the industry. *Helia*, 43(73), pp.167–184. https://doi.org/10.1515/helia-2020-0019

Saeidnia, F., Taherian, M., and 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(1), pp.198. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04197-9

Sharifi, P., Abbasian, A., and Mohaddesi, A. 2021. Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. *Plant Genetic Researches*, 7(2), pp.163-180. [In Persian]. dor: 20.1001.1.23831367.1399.7.2.10.2

Singer, S.D., Zou, J., and Weselake, R.J. 2016. Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition. *Plant Science*, 243, pp.1–9. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.11.003

Subramani, P., Nalliappan, G.K., Narayana, M., Veerasamy, R., and Natesan, S. 2024. Selection of superior and stable fodder maize hybrids using MGIDI and MTSI indices. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 24(4), e498624418. http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332024v24n4a55

Taleghani, D., Rajabi A., Saremirad, A., and Fasahat, P. 2023. Stability analysis and selection of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using AMMI, BLUP, GGE biplot and MTSI. *Scientific Reports*, 13(1), 10019. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37217-7

Yasar, M., Çil, A.N., and 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), pp.41-55. https://doi.org/10.5281/zenodo.7642289

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-30]