

Studying the Genotype \times Environment Interaction and Seed Yield Stability of New Sunflower Hybrids

Amir Gholizadeh^{1,*}, Mehdi Ghaffari², Abbas Rezaeizad³ and Fathollah Nadali⁴

- 1- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
- 2- Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran
- 4- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran

*Corresponding author ✉: a.gholizadeh@areeo.ac.ir

Citation: Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Rezaeizad, A. and Nadali, F. (2025). Studying the genotype \times environment interaction and seed yield stability of new sunflower hybrids. *Plant Genetic Researches*, **11(2)**: 65-82. <http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.2.5>

(Received: October 23, 2024; Final Revised: January 09, 2025; Accepted: Revised: January 13, 2025; Published online: March 17, 2025)

Extended abstract

Introduction

Oilseeds are one of the most important sources of energy worldwide. Sunflower is an important crop with nutritional and high economic values. Sunflower is one of the most important oilseed plants in the world, whose seeds contain 26-50% oil and 20-27% protein. By using new and high-yield hybrids, the economic performance of sunflower can be increased. Evaluating new sunflower hybrids under different environmental conditions is essential in identifying and selecting superior genotypes with high and stable yield potentials. Genotype \times environment interaction effects are important limiting factors in introducing new cultivars. Various methods have been introduced to evaluate the interaction effects, each of which examines the nature of the interaction effect from a specific point of view. The GGE-biplot graphic method is an approach with suitable efficiency to investigate the interaction effect of genotype \times environment and provides good graphical information regarding genotypes and environments. The aim of this study was to investigate the interaction effect of genotype \times environment using the GGE-biplot graphic method in order to evaluate genotypes, environments and relationships between genotypes and environments and finally to identify stable genotypes with high seed yield under different environmental conditions in sunflower.

Material and methods

A number of 16 oily sunflower genotypes were evaluated in a randomized complete block design with four replications in four experimental field stations (Karaj, Gorgan, Kermanshah and Shahrud) during 2021–2023 cropping seasons. GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype \times environment interaction) was used to study stability of genotypes in the studied environments. Plants were harvested at maturity and then the seed yield was recorded for each genotype at each test environment.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

Results and discussion

The combined analysis of variance indicated significant effects of environments, genotypes and genotype × environment interaction, suggesting that the genotypes responded differently in different environment conditions, justifying the stability analysis. According to the results of stability analysis using Eberhart and Russel method, the H8, H11, H14 and H10 genotypes with higher seed yield than overall mean and regression coefficient equal to one ($b_i=1$) was identified as the genotype with high general stability for all regions. Based on the simultaneous selection method for yield and stability (YSi), the genotypes of H10, H10 and H8 with the lowest values were stable, whereas genotypes H9, H16 and H6 with highest values were unstable. Also, based on the SIIG index, the genotypes of H10 and H11 with having high SIIG value as well as higher seed yield that total average were recognized as superior genotypes from the point of stability and seed yield. Cluster analysis grouped the Gorgan and Kermanshah locations together, indicating that these two main environments possess high predictability and repeatability for any future genotype performance evaluation.

Conclusions

Based on the findings of present study, genotypes H10 and H11 demonstrated superior performance in terms of both seed yield and stability, indicating their potential for advancement in research-extension trials and possible release as new cultivars for commercial cultivation. Plus, due to their high predictive potentials, the Gorgan and Kermanshah environments were identified as suitable experimental locations for the selection of high-performing sunflower genotypes. Overall, the results highlight the effectiveness of the GGE biplot graphical method in analyzing genotype × environment interactions and in providing valuable insights into the performance of genotypes and the discriminative ability of test environments.

Keywords: Sunflower, Broad compatibility, Eberhart and Russel method, SIIG index



بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه هیبریدهای جدید آفتابگردان

امیر قلی‌زاده^{۱*}، مهدی غفاری^۲، عباس رضایی‌زاد^۳ و فتح‌الله نادعلی^۴

- ۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان
- ۲- دانشیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
- ۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه
- ۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲؛ تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷)

چکیده

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مسئله‌ای مهم در مطالعه صفات کمی می‌باشد، زیرا پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را کاهش می‌دهد. در این راستا به منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد و سازگاری هیبریدهای جدید آفتابگردان روغنی، تعداد شانزده ژنوتیپ آفتابگردان در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، گرگان، کرمانشاه و شاهرود) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود؛ از این رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه پایداری با روش ابرهات و راسل، ژنوتیپ‌های H8، H11، H14 و H10 با عملکرد بالاتر از میانگین و ضریب رگرسیون نزدیک به یک به‌عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق شناخته شدند. بر اساس روش گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری (YS_i)، ژنوتیپ‌های H10، H11 و H8 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های H9، H16 و H6 با بیشترین مقدار آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های H10 و H11 با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناخته شدند و قابلیت ورود به آزمایش‌های تحقیقی-ترویجی به‌منظور معرفی به‌عنوان رقم جدید برای کشت را دارند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، هر دو سال آزمایش مکان‌های گرگان و کرمانشاه در یک گروه قرار گرفتند که بیان‌گر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این مکان‌ها می‌باشد.

واژگان کلیدی: آفتابگردان، سازگاری عمومی، روش ابرهات و راسل، شاخص SIIG

مقدمه

آفتابگردان با سطح کاشت جهانی ۲۹/۵ میلیون هکتار در سال ۲۰۲۱ یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی سازگار به مناطق مختلف دنیا از جمله ایران است. قابلیت کشت بهاره و تابستانه آفتابگردان در مناطق سرد و معتدل و کشت پاییزه و زمستانه در مناطق گرمسیر، آفتابگردان را به یک گیاه چهار فصل تبدیل کرده است (Ghaffari et al., 2021). دوره رشد کم (حدود صد روز)، درصد روغن بالا (۵۰-۴۵ درصد) با کیفیت مطلوب، مکانیزه بودن و تحمل نسبی به خشکی از مهم‌ترین مزایای آفتابگردان است (Gholizadeh et al., 2021b). با توجه به این ویژگی‌های خاص، توسعه کشت و تولید آفتابگردان ضروری می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین راهکارها برای افزایش سطح کشت و تولید آفتابگردان، معرفی ارقام جدید پربازده جهت کشت در نقاط مختلف کشور می‌باشد. بنابراین به‌نژادگران آفتابگردان باید به دنبال اصلاح و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار باشند. یکی از مهم‌ترین مسائلی که هنگام معرفی و آزادسازی ارقام جدید از اهمیت بالایی برخوردار است، بحث اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد می‌باشد. پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد خود و به حداقل رساندن خسارت ناشی از تغییرات آب و هوایی گفته می‌شود (Fooladvand et al., 2013). برای تعیین و شناسایی ژنوتیپ‌های با اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتر و پایدار، ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف کشت می‌شوند. وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی شده و سودمندی و وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده را کاهش می‌دهد (Alizadeh et al., 2021a)؛ بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به‌کار برده شده است که شامل روش‌های پارامتری تک متغیره، ناپارامتری و چند متغیره می‌باشند. هر کدام از این روش‌ها جنبه‌ها و ابعاد خاصی از

داده‌های چندمحیطی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (Mohammadi et al., 2018; Vaezi et al., 2019). از روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به‌وفور توسط محققان مختلف استفاده شده است. در میان روش‌های پارامتری، روش‌های رگرسیونی که از روش‌های تک‌متغیره می‌باشند، به‌عنوان روش‌هایی با کارایی مناسب برای تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Becker and Léon, 1988; Wachira et al., 2002; Akbarpour et al., 2012). روش رگرسیون ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) یکی از پرکاربردترین روش‌های رگرسیونی می‌باشد که جهت تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها در آزمایشات چندمحیطی در گیاهان مختلف از جمله گلرنگ (Jamshidmoghaddam and Pourdad, 2013)، خلر (Ahmadi et al., 2016)، جو (Vaezi et al., 2019)، پنبه (Alishah et al., 2019)، آفتابگردان (Ahmadpour et al., 2019) و کلزا (Alizadeh et al., 2021b) مورد استفاده قرار گرفته است. از سایر روش‌های پارامتری مانند ضریب تغییرات، ضریب تشخیص، واریانس محیطی، واریانس پایداری شوکلا و اکوالانس ریک برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (Vaezi et al., 2019; Alizadeh et al., 2022; Akbari et al., 2022). روش‌های آماری ناپارامتری نیز به‌دلیل عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و همچنین حساس نبودن به خطا و داده‌های پرت، اطلاعات مفیدی را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران گیاهی قرار می‌دهند (Karimizadeh et al., 2008; Movahhedi et al., 2010; Pourdad et al., 2018; Moghaddasadeh et al., 2014). از روش‌های ناپارامتری در گیاهان دانه روغنی از قبیل کلزا (Pourdad et al., 2021a; Alizadeh et al., 2014)، آفتابگردان (Ghaffari et al., 2022) و سویا (Gholizadeh et al., 2024) برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است.

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند. کد، نام، شجره و نوع ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ ذکر شده است. در همه مناطق جهت آماده‌سازی زمین از گاوآهن برگرداندار به همراه عملیات دیسک‌زنی (دو بار) برای از بین بردن کلوخه‌ها استفاده گردید. کودهای مورد نیاز خاک، شامل ۲۰۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم پتاس خالص در هکتار از منبع سولفات پتاسیم موقع تهیه زمین به خاک مزرعه اضافه گردید. همچنین مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره که یک سوم آن موقع تهیه زمین و بقیه کود اوره طی دو نوبت یکی بعد از سبز شدن و دیگری در مرحله قبل از غنچه‌دهی به خاک مزرعه اضافه گردید. در همه مناطق هر کرت آزمایشی شامل ۳ خط کشت به طول ۳ متر و کشت به صورت دستی و با قرار دادن ۳ عدد بذر در هر کپه و به فواصل ۲۵ سانتیمتر از هم انجام گردید. بعد از مرحله ۴ برگی، عملیات تنک انجام گردید و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله انجام گرفت. آبیاری هم به صورت نشتی و با توجه به نیاز گیاه انجام شد.

با توجه به تنوع زیاد روش‌های پارامتری و ناپارامتری، استفاده از یک روش به تنهایی، ممکن است منجر به نتایج مطلوبی در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نشود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌ها، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های پایدار را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (Selection index of ideal genotype; SIIG) یکی از روش‌های آماری چندمعیاره است که بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها یا شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های پایدار مطلوب را شناسایی می‌کند (Zali et al., 2015, 2016). از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018)، جو (Ramzi et al., 2020) و باقلا (Sheikh et al., 2021) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها یا شاخص‌ها استفاده شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار آفتابگردان با استفاده از روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری و استفاده از شاخص SIIG برای ادغام روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۶ ژنوتیپ آفتابگردان روغنی در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، گرگان، کرمانشاه و شاهرود در

جدول ۱- شماره، کد و شجره ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

Table 1. Code, name and pedigree of the tested sunflower genotypes

شماره	کد	نام/شجره	نوع ژنوتیپ
No.	Code	Name/Pedigree	Genotype type
1	H1	RGK15 × AGK370	Hybrid
2	H2	RGK15 × AGK32	Hybrid
3	H3	RGK15 × A1221	Hybrid
4	H4	RGK3b × AGK110	Hybrid
5	H5	RGK24 × AGK370	Hybrid
6	H6	RO53 × AO67	Hybrid
7	H7	RGK15 × AF81-222	Hybrid
8	H8	RGK25 × AGK330	Hybrid
9	H9	RF81-65 × AGK370	Hybrid
10	H10	RGK15 × AF81-112	Hybrid
11	H11	SUN99-OP4	Open pollinate
12	H12	SUN99-OP8	Open pollinate
13	H13	LAKUMKA	Open pollinate (check cultivar)
14	H14	PROGRESS	Open pollinate (check cultivar)
15	H15	ZARRIN	Hybrid (check cultivar)
16	H16	GOLSA	Hybrid (check cultivar)

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی مزارع تحقیقاتی در این تحقیق

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

مکان Location	طول جغرافیایی (درجه دقیقه) Longitude (E)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه) Latitude (N)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) Rainfall (mm)
Karaj	50° 54'	35° 56'	1312	300
Gorgan	54° 25'	36° 54'	5	460
Kermanshah	47° 26'	34° 08'	1346	468
Shahrud	54° 58'	36° 25'	1380	156

تتارازو و $NP_1^{(1)}, NP_1^{(2)}, NP_1^{(3)}, NP_1^{(4)}$ (Thennarasu, 1995) و روش‌گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری (YS_i) (Kang, 1988) توسط برنامه برخط STABILITYSOFT طراحی شده توسط پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2019) محاسبه گردید. در ادامه به‌منظور ادغام روش‌های پارامتری و ناپارامتری از شاخص SIIG (Zali et al., 2015, 2016) استفاده شد. نحوه محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) به شرح ذیل بود:
تشکیل ماتریس داده‌ها: با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به‌صورت رابطه (۱) تشکیل شد.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این ماتریس x_{ij} مقدار شاخص (صفت) i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با ژنوتیپ j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال: از رابطه ۲ برای نرمال کردن داده‌ها و از رابطه ۳ برای تشکیل ماتریس R استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۳})$$

تعیین ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف: در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب شد.

پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف گردید. در ادامه تمام بوته‌های کرت برداشت شد و پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرمن‌کوبی شدند و دانه‌های به‌دست آمده با ترازوی دقیق توزین گردید و پس از تبدیل، به‌عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا آزمون نرمال بودن باقیمانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت. سپس آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر سال و مکان (محیط) و آزمون F با توجه به امیدریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، از روش‌های ناپارامتری Hildebrand، Kubinger و Laan-Kroon برای تشخیص اثر متقابل غیرمتقاطع از متقاطع استفاده شد (Hühn and Léon, 1995). سپس تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری انجام گردید. روش‌های پارامتری شامل ضریب رگرسیون و انحراف از خط رگرسیون (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966)، ضریب تغییرات (Francis and Kannenberg, 1978)، ضریب تشخیص (Pinthus, 1973)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، اکولانس ریک (Wricke, 1962) و واریانس محیطی (Plaisted and Peterson, 1959) و روش‌های ناپارامتری شامل آماره‌های $S_1^{(1)}, S_1^{(2)}, S_1^{(3)}$ و $S_1^{(6)}$ (Hühn, 1979; Nassar and Hühn, 1987)، آماره‌های

می‌شود. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و عملکرد پایین، به‌عنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مورد واریانس پایداری شوکلا، مقدار ایده‌آل برابر کمترین مقدار واریانس پایداری شوکلا برای ژنوتیپ‌ها و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار واریانس پایداری شوکلا برای ژنوتیپ‌ها است.

همچنین در ادامه به‌منظور گروه‌بندی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد (Ward) و معیار مجذور فاصله اقلیدوسی استفاده شد و سپس تحلیل تابع تشخیص برای تأیید صحت گروه‌بندی انجام شد. برای انجام محاسبات از نرم‌افزارهای آماری SAS (نسخه ۹/۱)، Minitab (نسخه ۱۴) و SPSS (نسخه ۲۰) استفاده شد.

نتایج و بحث

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد (مقدار آماره کای-دو برابر با ۱۵/۳۳ و غیرمعنی‌دار) و نتایج حاکی از این بود که واریانس محیط‌های مختلف یکسان بوده و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که واریانس محیط‌ها ۷۰/۳۲ درصد، واریانس ژنوتیپ‌ها ۷/۴۹ درصد و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۲۲/۱۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به‌وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده است. با توجه به این‌که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از عوامل محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک) را دارا بوده؛ بنابراین اختصاص عمده تغییرات به واریانس

محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف: در این مرحله برای هر آماره یا شاخص، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ ضعیف به‌ترتیب از روابط (۴) و (۵) محاسبه شد:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$i = 1, \dots, n$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$i = 1, \dots, n$$

که در این روابط r_{ij} مقدار نرمال شده شاخص (صفت) i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با ژنوتیپ j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. r_j^+ و r_j^- به‌ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص (صفت) i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) هستند. همچنین d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ ضعیف است.

محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل: در آخرین مرحله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$0 \leq SIIG \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

مقدار SIIG بین صفر و یک متغیر است و هرچه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود (Zali et al., 2015, 2016). به‌عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده کرد. براساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دارای دورترین فاصله از ژنوتیپ‌های ضعیف است. منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیشترین پایداری عملکرد را داشته باشد، درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپی فرضی است که کمترین پایداری عملکرد را داشته باشد (Zali et al., 2015, 2016). به‌طور خلاصه، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از آماره‌های پایداری به‌دست می‌آید، درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف از مجموع مقادیر ضعیف هر یک از آماره‌های پایداری حاصل

متقابل (متقاطع و غیرمتقاطع) در این پژوهش وجود دارد و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان باید مورد ارزیابی قرار گیرد. غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2022) نیز با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری (Hildebrand, Kubinger و Laan-Kroon) گزارش کردند که هر دو نوع اثر متقابل (متقاطع و غیرمتقاطع) در آفتابگردان وجود دارد. در بسیاری از تحقیقات در گیاهان مختلف به منظور تشخیص اثر متقابل غیرمتقاطع از متقاطع از آزمون‌های ناپارامتری مذکور استفاده شده است (Alizadeh et al., 2020; Ghaffari et al., 2022;) (Gholizadeh et al., 2024).

روش‌های ناپارامتری: نتایج میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و نه آماره ناپارامتری نشان داد که دامنه تغییرات میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی بین ۲۸۰۲ تا ۳۸۷۰ با میانگین کل ۳۲۴۴ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های H4 و H10 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند (جدول ۵). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های H1, H16, H3, H13, H12, H14, H8, H11 و H10 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. بر اساس آماره‌های ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق، ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره‌های $S_1^{(1)}$ و $S_1^{(2)}$ ژنوتیپ‌های H4, G10, H11 و H16 کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های H13, H16 و H9 با بیشترین مقادیر آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس آماره‌های $S_1^{(3)}$ و $S_1^{(6)}$ ژنوتیپ‌های H10 و H11 به‌عنوان پایدارترین شناخته شدند (جدول ۵). آماره $NP_1^{(1)}$ ژنوتیپ‌های H4, H11 و H14 را ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد. بر اساس آماره $NP_1^{(2)}$ ژنوتیپ‌های H11, H14 و H14 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. دو آماره $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ از نظر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نتایج نسبتاً مشابهی داشتند. بر اساس این دو آماره، ژنوتیپ‌های H10 و H11 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (جدول ۵).

محیطی دور از انتظار نیست. غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2021) نیز در آفتابگردان گزارش کردند که عمده تغییرات موجود در داده‌ها را اثر محیط به خود اختصاص می‌دهد. همچنین سایر پژوهشگران در محصولات دیگر گزارش کردند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را در آزمایش‌های چندمحیطی به خود اختصاص داده است (Nowosad et al., 2016; Vaezi et al., 2017; Alizadeh et al., 2021a; Gholizadeh et al., 2022).

اثر معنی‌دار ژنوتیپ نیز بیانگر تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت دیگر عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت. اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت (Yan and Kang, 2003; Esmailzadeh Moghaddam et al., 2018). روش‌های ناپارامتری Hildebrand, Kubinger و Laan-Kroon قابلیت بالایی در تشخیص اثر متقابل غیرمتقاطع از متقاطع دارند. روش‌های Hildebrand و Kubinger برای تشخیص وجود اثر متقابل غیرمتقاطع و روش Laan-Kroon برای تشخیص اثر متقابل متقاطع کاربرد دارد (Hühn and Léon, 1995). نتایج تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده روش‌های ذکر شده در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به معنی‌دار شدن هر سه نوع آزمون، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع اثر

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و تجزیه واریانس به روش ابرهارت و راسل عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 3. Combined analysis of variance and Eberhart and Russell analysis of seed yield for sunflower genotypes

منابع تغییرات Source	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات کل (درصد) Total sum of squares (%)
محیط Environment (E)	7	274989153	39284165**	70.32
تکرار درون محیط Replication/E	24	25028624	1042859	
ژنوتیپ Genotype (G)	15	29273854	1951590**	7.49
ژنوتیپ × محیط G × E	105	86772021	826400**	22.19
خطا Error	360	106079228	294665	
کل Total	511	522142880		
تجزیه ابرهارت و راسل Eberhart and Russell analysis				
Total	127	97758757		
G	15	7318464	487898**	
E	7	68747288	9821041**	
G × E	105	21693005	206600**	
E + [G × E]	120	90440293	753669**	
E [Linear]	1	68747288	68747288**	
G × E [Linear]	15	3658202	243880**	
انحراف از رگرسیون Deviation from regression	96	18034803	187863**	
H1	6	1406703	234451**	
H2	6	904520	150753**	
H3	6	1639686	273281**	
H4	6	432070	72012**	
H5	6	1076372	179395**	
H6	6	847302	141217**	
H7	6	703704	117284**	
H8	6	1033189	172198**	
H9	6	2872463	478744**	
H10	6	412832	68805**	
H11	6	401525	66921**	
H12	6	324614	54102**	
H13	6	1749590	291598**	
H14	6	1466895	244482**	
H15	6	907221	151204**	
H16	6	1856116	309353**	
Error	360	106080000	294665	

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 0.01 probability level

جدول ۴- آنالیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از آزمون‌های مختلف ناپارامتری برای ۱۶ ژنوتیپ آفتابگردان مورد

بررسی در ۸ محیط

Table 4. Analysis of genotype × environment interaction using different nonparametric tests on 16 sunflower genotypes grown in 8 environments.

آماره‌ها Statistics	درجه آزادی df	آماره کای-دو χ^2 statistic
Hildebrand	105	365.51**
Kubinger	105	293.25**
Laan-Kroon	105	210.70**

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 0.01 probability level

جدول ۵- آماره‌های پایداری ناپارامتری برای ۱۶ ژنوتیپ آفتابگردان

Table 5. Non-parametric measures of stability for 16 sunflower genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد (کیلوگرم درهکتار) Mean yield (Kg.ha ⁻¹)	میانگین عملکرد								
		S _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	S _i ⁽³⁾	S _i ⁽⁶⁾	NP _i ⁽¹⁾	NP _i ⁽²⁾	NP _i ⁽³⁾	NP _i ⁽⁴⁾	YS _i
1	3265	4.93	16.86	13.88	3.06	3.50	0.40	0.50	0.58	18
2	3143	5.86	23.43	20.50	4.00	4.50	0.53	0.60	0.73	15
3	3277	5.50	21.93	19.81	3.68	3.38	0.43	0.55	0.71	21
4	2802	2.18	3.55	6.03	2.67	2.75	1.31	0.85	0.53	17
5	3090	4.82	16.41	16.71	3.38	3.50	0.52	0.65	0.70	20
6	3093	5.46	20.55	19.51	3.76	3.50	0.63	0.59	0.74	21
7	3098	4.07	12.21	11.03	2.58	3.25	0.40	0.51	0.53	19
8	3422	4.86	16.86	12.42	2.53	4.13	0.39	0.53	0.51	9
9	3002	6.00	25.07	26.00	5.04	5.25	0.95	0.86	0.89	31
10	3870	1.11	1.41	0.64	0.49	3.13	0.52	0.22	0.07	4
11	3540	2.32	4.27	2.57	1.08	3.00	0.34	0.30	0.20	4
12	3343	5.93	24.00	17.68	3.37	4.75	0.40	0.53	0.62	16
13	3283	6.54	29.84	26.52	4.44	4.63	0.58	0.68	0.83	19
14	3383	5.14	21.93	16.59	3.14	3.00	0.27	0.48	0.56	16
15	3046	4.96	19.27	19.62	4.18	3.75	0.73	0.64	0.72	18
16	3254	6.39	27.84	21.96	3.94	5.00	0.47	0.65	0.72	24

S_i⁽¹⁾, S_i⁽²⁾, S_i⁽³⁾, S_i⁽⁶⁾: آماره‌های هان (Hühn's, 1979) و هان و نصار و هان (Nassar and Hühn, 1987), NP_i⁽¹⁾, NP_i⁽²⁾, NP_i⁽³⁾ و NP_i⁽⁴⁾: آماره‌های تنارازو

(Thennarasu, 1995), KR: آماره کانگ (Kang, 1988), ASR: متوسط مجموع رتبه‌ها

S⁽⁶⁾ Hühn (1979) and Nassar and Hühn (1987) nonparametric measures, NP⁽⁶⁾ Thennarasu non-parametric (1995) measures, KR Kang (1988) rank-sum. ASR average of sum of ranks. This value refers to all non-parametric measures.

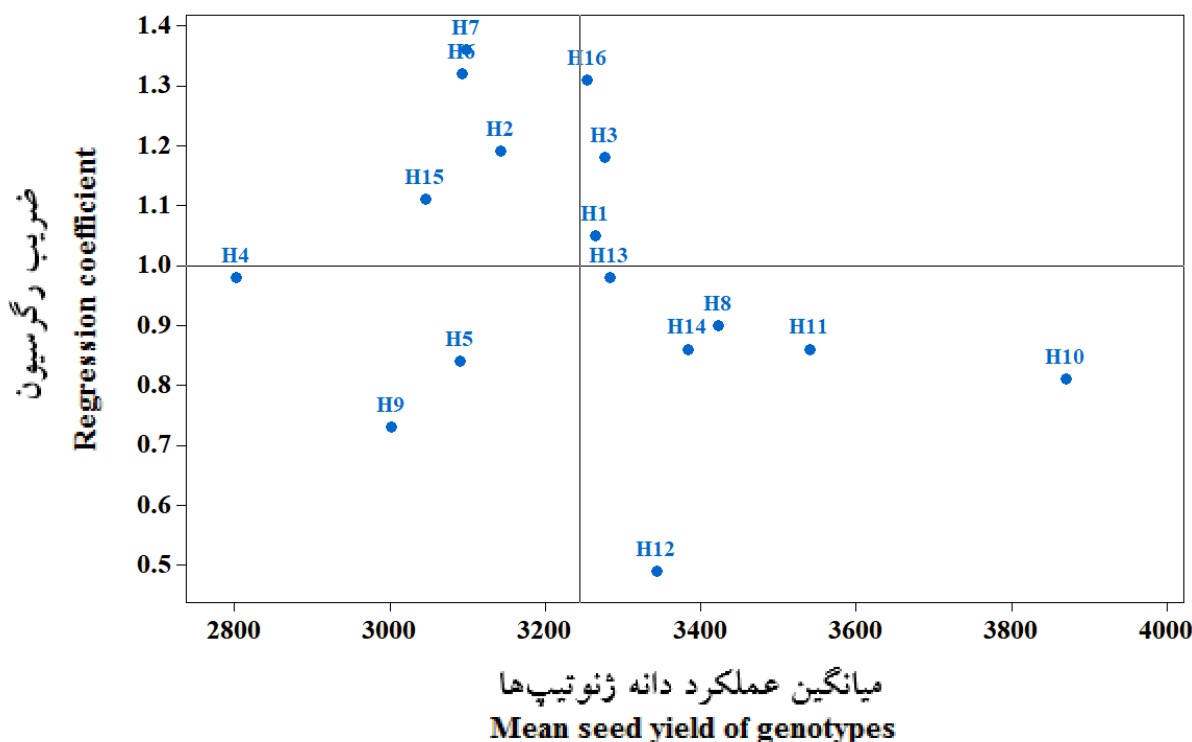
به بهبود شرایط محیطی می‌باشند. در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که معیار پایداری گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (YS_i) بیشتر از مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری بهره می‌برد و ژنوتیپ‌های پایدار (H8 و H11, H10) انتخاب شده توسط این پارامتر از عملکرد بالایی نیز برخوردار می‌باشند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که معیار YS_i دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری می‌باشد و معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در ژنوتیپ‌های آفتابگردان می‌باشد. سایر محققان در گیاهان مختلف از قبیل جو (Vaezi et al., 2019)، سیب‌زمینی (Alizadeh et al., 2018)، گلزا (Moghaddaszadeh et al., 2018)، گندم نان (Abyar et al., 2021) و آفتابگردان (Ghaffari et al., 2022) معیار پایداری YS_i را دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری معرفی کردند.

روش‌های پارامتری: نتایج تجزیه واریانس به روش ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) در جدول ۳ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که اثرات ژنوتیپ، محیط (خطی)، ژنوتیپ × محیط (خطی) و انحراف از رگرسیون معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده این

روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (YS_i) به‌عنوان معیار دیگری جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها توسط کانگ (Kang, 1988) ارائه شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار YS_i به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر اساس این معیار، ژنوتیپ‌های H8 و H11, H10 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های H9, H16 و H6 با بیشترین مقدار آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۵). بیکر (Becker, 1981) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرده است. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیک) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنا است که ژنوتیپ پایدار، عملکرد غیرقابل تغییری در میان محیط‌ها دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نمی‌باشد. در حالی که بسیاری از به‌نژادگران مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری را جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. طبق این مفهوم پایداری، یک پاسخ پیش‌بینی‌پذیر به عوامل محیطی وجود دارد یا به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ

ضریب رگرسیونی برابر با یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون غیرمعنی‌دار، نشان‌دهنده پایداری یک ژنوتیپ می‌باشند. با توجه به معنی‌دار بودن انحراف از خط رگرسیون برای همه ژنوتیپ‌ها (جدول ۳)، از دو معیار دیگر ابره‌ارت و راسل (عملکرد بالا و ضریب رگرسیونی برابر یک) جهت تعیین میزان پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد. معیارهای پایداری بر مبنای روش ابره‌ارت و راسل در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین موقعیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و ضریب رگرسیون در شکل ۱ نمایش داده شده است. طبق تعریف ژنوتیپ‌هایی که دارای ضریب رگرسیون یک یا نزدیک به یک باشند و همچنین عملکرد آن‌ها از میانگین کل آزمایش بیشتر باشد، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق مورد بررسی شناخته می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی با ضریب رگرسیون بالاتر از یک دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مطلوب و ژنوتیپ‌های با ضریب رگرسیون کمتر از یک دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامطلوب می‌باشند (Dorrani-Nejad and Mohammadi-Nejad, 2018).

مطلب است که تنوع ژنتیکی وسیعی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت. معنی‌دار شدن میانگین مربعات مربوط به محیط (خطی) بیانگر این موضوع می‌باشد که بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود دارد، به گونه‌ای که با افزایش شاخص محیطی (بهبود شرایط کشت)، عملکرد ژنوتیپ‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط (خطی)، می‌توان نتیجه گرفت که شیب‌خط رگرسیونی ژنوتیپ‌ها یکسان نبوده و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را نشان داده‌اند. معنی‌دار شدن میانگین مربعات انحرافات از خط رگرسیونی (انحراف مرکب) نیز نشان‌دهنده پراکندگی زیاد نقاط مربوط به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون قرار می‌باشد و به بیان دیگر می‌توان گفت که واکنش یک ژنوتیپ در طول تغییرات خطی با محیط ممکن است دارای تغییرات زیادی باشد (Jafari et al., 2015). بر مبنای روش تجزیه پایداری رگرسیونی ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) سه معیار عملکرد بالا،



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان بر اساس عملکرد دانه و ضریب رگرسیون

Figure 1. Distribution diagram of sunflower genotypes based on seed yield and regression coefficient

جدول ۶- آماره‌های پایداری پارامتری برای ۱۶ ژنوتیپ آفتابگردان

Table 6. Parametric measures of stability for 16 sunflower genotypes.

ژنوتیپ Genotype	ضریب تغییرات Coefficient variance	ضریب رگرسیون Regression coefficient	انحراف از خط رگرسیون Variance of regression deviation	اکووالانس ریک Wricke's ecovalence	واریانس شوکلای Shukla's variance	واریانس محیطی Environmental variance	ضریب تشخیص coefficient of determination
1	28.68	1.05	234451	1417039	216596	218668	0.77
2	31.85	1.19	150753	1063502	158876	191709	0.87
3	31.86	1.18	273281	1779952	275847	246191	0.79
4	28.83	0.98	72012	433640	56041	143729	0.91
5	24.87	0.84	179395	1181785	178187	200712	0.74
6	35.29	1.32	141217	1288967	195686	208832	0.90
7	35.82	1.36	117284	1251886	189633	206139	0.92
8	23.56	0.91	172198	1072150	160288	192350	0.77
9	28.69	0.74	478744	3174070	503458	352553	0.45
10	17.63	0.81	68805	561890	76980	153468	0.87
11	20.24	0.86	66921	483425	64169	147488	0.89
12	13.15	0.49	54102	1446048	221332	220748	0.76
13	27.94	0.98	291598	1751067	271131	244117	0.70
14	24.14	0.86	244482	1547105	237832	228577	0.69
15	30.97	1.11	151204	961951	142296	184021	0.85
16	35.37	1.31	309353	2278526	357247	284174	0.80

خصوصی در سیستم‌های زراعی می‌تواند آثار منفی اثرات ژنوتیپ × محیط را خنثی کند و از این طریق می‌توان از شرایط آب و هوایی متفاوت استفاده کرد (Farshadfar and Sutka, 2006).

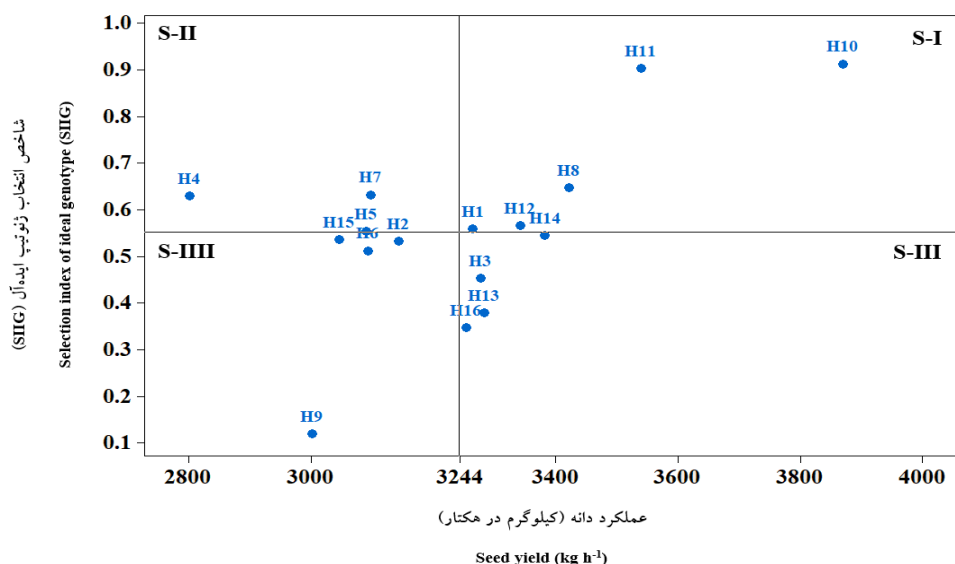
نتایج سایر آماره‌های پارامتری در جدول ۶ ذکر شده است. بر اساس آماره‌های اکوالانس ریک، واریانس پایداری شوکلای و واریانس محیطی، ژنوتیپ‌های H4، H11 و H10 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های H9، H16 و H3 با بیشترین مقادیر آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. آماره ضریب تغییرات، ژنوتیپ‌های H10، H12 و H11 را ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد، در حالی که بر اساس آماره ضریب تشخیص که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده پایداری می‌باشد، ژنوتیپ‌های H7، H4 و H6 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۶). از روش‌های پارامتری مانند ضریب تغییرات، ضریب تشخیص، واریانس محیطی، واریانس پایداری شوکلای و اکوالانس ریک برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (Vaezi et al., 2019; Alizadeh et al., 2022; Akbari et al., 2022).

با توجه به نتایج جدول ۶ و شکل ۱ مشاهده می‌شود که در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های H8، H11، H14 و H10 با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش و ضریب رگرسیون نزدیک به یک به‌عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق شناخته شدند. ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی به‌دلیل این که از سازگاری و درجه تحمل بیشتری در مقابل تغییرات محیطی برخوردارند، در میانگینی از شرایط محیطی، عملکرد رضایت‌بخشی را تولید می‌کنند. بنابراین ژنوتیپ‌های H8، H11، H14 و H10 با میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل، بهترین سازگاری عمومی را در تمام مناطق مورد مطالعه داشتند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در این مطالعه معرفی شوند. ژنوتیپ‌های H1، H3 و H16 با ضریب رگرسیون بالاتر از یک و عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد یا مطلوب شناسایی شدند. همچنین ژنوتیپ‌های H9، H5 و H4 با ضریب رگرسیون کمتر از یک و عملکرد دانه پایین‌تر از میانگین کل آزمایش به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد یا نامطلوب شناسایی شدند (جدول ۶). استفاده از ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی و

هیبریدهای جدید آفتابگردان با عملکرد بالا و خصوصیات زراعی مطلوب نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Gholizadeh *et al.*, 2021a).

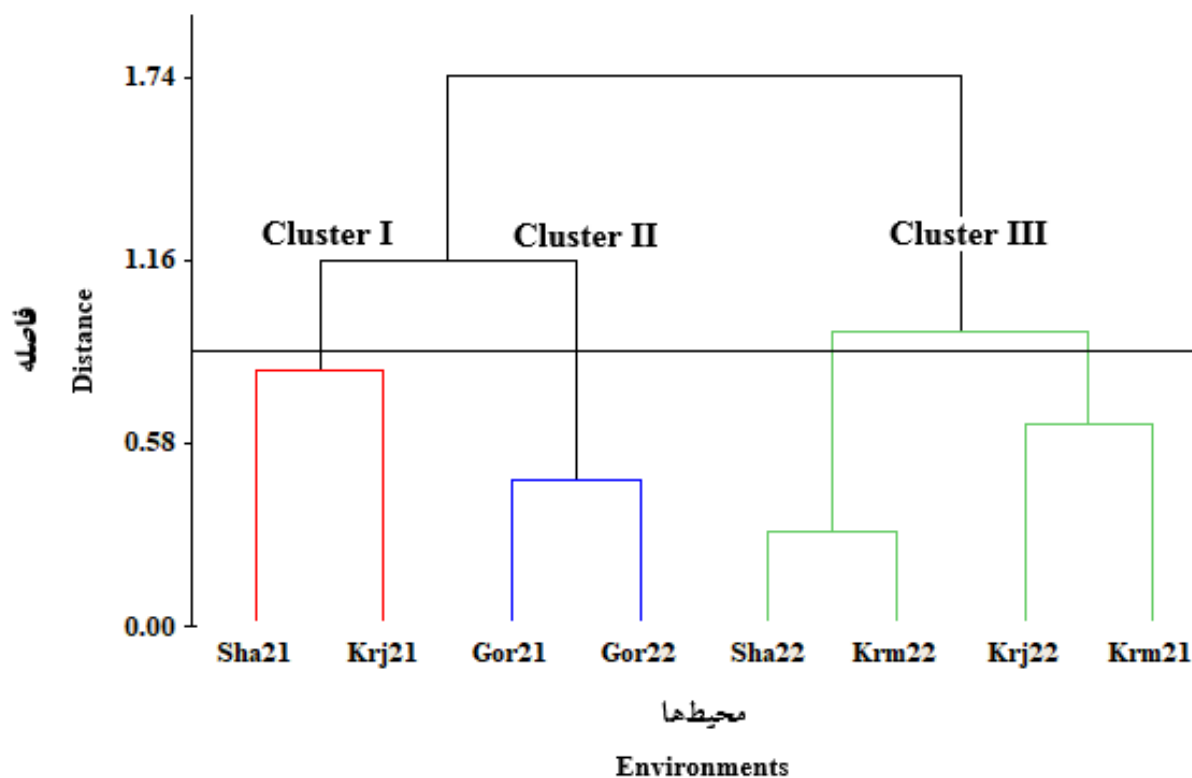
گروه‌بندی محیط‌ها: گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سه گروه مجزا را نشان داد (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Sha21 (شاه‌رود سال اول) و Krj21 (کرج سال اول) بود. دو محیط Gor21 (گرگان سال اول) و Gor22 (گرگان سال دوم) در گروه دوم (Cluster II) قرار گرفتند. گروه سوم (Cluster III) نیز شامل محیط‌های Sha22 (شاه‌رود سال دوم)، Krj22 (کرج سال دوم)، Krm21 (کرمانشاه سال اول) و Krm22 (کرمانشاه سال دوم) بود (شکل ۳). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک گروه قرار می‌گیرند. در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای اثر متقابل متقاطع نسبت به هم می‌باشند (Yan and Rajcan, 2002; Yan and Kang, 2003).

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر ثبات عملکرد در محیط‌های مختلف، علاوه بر استفاده از تک آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز استفاده شد و همه آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری ادغام شده و تبدیل به یک شاخص واحد یعنی SIIG شدند (جدول ۷). شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌کار می‌رود. با استفاده از روش SIIG می‌توان آماره‌های مختلف را به‌صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد (Zali *et al.*, 2015, 2016). با توجه به نتایج، ژنوتیپ‌های H10 و H11 با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری بودند (جدول ۷ و شکل ۲). از طرفی دیگر ژنوتیپ H9 با مقدار SIIG پایین و همچنین عملکرد دانه کمتر از میانگین کل، به‌عنوان ژنوتیپ ناپایدار شناسایی شد (جدول ۷ و شکل ۲). شاخص SIIG به‌منظور گزینش



شکل ۲- نمودار دوبعدی پراکنش ۱۶ ژنوتیپ آفتابگردان بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG. ناحیه S-I: ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه و شاخص SIIG بالا، ناحیه S-II: ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایین و شاخص SIIG بالا، ناحیه S-III: ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و شاخص SIIG پایین، ناحیه S-III: ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایین و شاخص SIIG پایین.

Figure 2. Two-dimensional graph of distribution of 16 sunflower genotypes based on seed yield and SIIG method. Section S-I: genotypes with high seed yield and SIIG index, Section S-II: genotypes with low seed yield and high SIIG index, Section S-III: genotypes with high seed yield and low SIIG index, Section S-III: genotypes with low seed yield and low SIIG index.



شکل ۳- گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه

Figure 3. Classification of the studied environments based on mean seed yield

جدول ۷- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل آفتابگردان بر مبنای روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری و فواصل از ژنوتیپ مطلوب (d^+)، ژنوتیپ نامطلوب (d^-) و عملکرد دانه

Table 7. Selection index of ideal sunflower genotype based on non-parametric and parametric methods and distance from ideal genotype (d^+), non-ideal genotype (d^-) and seed yield

نام ژنوتیپ Genotypes name	d^+	d^-	شاخص SIIG SIIG index	عملکرد دانه Seed yield
H1	0.609	0.776	0.560	3265
H2	0.701	0.800	0.533	3143
H3	0.775	0.643	0.454	3277
H4	0.611	1.046	0.631	2802
H5	0.631	0.787	0.555	3090
H6	0.712	0.751	0.513	3093
H7	0.521	0.898	0.633	3098
H8	0.493	0.907	0.648	3422
H9	1.258	0.171	0.120	3002
H10	0.119	1.267	0.914	3870
H11	0.131	1.239	0.904	3540
H12	0.653	0.856	0.567	3343
H13	0.915	0.562	0.380	3283
H14	0.647	0.777	0.546	3383
H15	0.684	0.793	0.537	3046
H16	0.944	0.503	0.348	3254
میانگین (Mean)			0.553	3244

در مجموع نتایج نشان داد که روش‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری و ادغام این روش‌ها با استفاده از روش SIIG، ابزارهایی سودمند برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در اختیار قرار می‌دهند. بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های H10 و H11 با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناخته شدند و قابلیت ورود به آزمایش‌های تحقیقی-ترویجی به‌منظور معرفی به‌عنوان رقم جدید برای کشت را دارند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، هر دو سال آزمایش مکان‌های گرگان و کرمانشاه در یک گروه قرار گرفتند که بیان‌گر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این مکان‌ها می‌باشد.

سیاسگزاری

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از اجرای طرح مصوب به‌شماره ۰۳-۰۳-۰۳۱۴-۰۰۴۹-۰۰۰۵۶۸ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر است. بدین‌وسیله از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به پاس تأمین هزینه‌های اجرای پروژه و نیز از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، کرمانشاه و سمنان به جهت فراهم نمودن امکانات اجرای پروژه تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

قرار گرفتن هر دو سال آزمایش گرگان و کرمانشاه در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این دو ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های کرج و شاهرود می‌باشد. به‌عبارت دیگر این امر نشان دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود؛ از این‌رو با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و هوایی این مناطق در طی چند سال، روی عملکرد آفتابگردان تأثیری نداشته و می‌توان آزمایش‌های بررسی ژنوتیپ‌های آفتابگردان را با تعداد سال کمتری انجام داد. قرار گرفتن سال‌های اول و دوم ایستگاه‌های کرج و شاهرود در گروه‌های جداگانه، نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. تجزیه خوشه‌ای به‌منظور گروه‌بندی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه در آزمایش‌های چندمحیطی در کلزا (Alizadeh *et al.*, 2020)، گندم نان (Abyar *et al.*, 2021) و آفتابگردان (Ghaffari *et al.*, 2022) نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

References

- Abyar, S., Navabpour, S., Karimizadeh, R., Nasrollahnejad ghomi, A.A., Kiani, G.H. and Gholizadeh, A. (2021). Evaluation of genotype × environment interaction and grain yield stability of different bread wheat genotypes using non-parametric methods. *Cereal Research*, **11(2)**: 89-104 (In Persian).
- Ahmadi, J., Vaezi, B. and Pour-Aboughadareh, A. (2016). Evaluation of forage yield stability of advanced lines of grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, **8**: 149-159 (In Persian).
- Ahmadpour, S., Darvishzadeh, R., Sofalian, O. and Hatamzadeh, H. (2019). Evaluation of yield stability of sunflower inbred lines under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **11**: 1-10 (In Persian).
- Akbari, S., Akbarpour, O. and Pezeshkpour, P. (2022). Evaluation of grain yield stability of lentil genotypes using parametric methods in rainfed conditions of khorrabad. *Journal of Crop Breeding*, **14(44)**: 227-238 (In Persian).
- Akbarpour, O., Deghani, H. and Sorkhi-Lalehloo, B. (2012). Study of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Iran using regression methods. *Iranian Journal of Crop Sciences*, **14**: 155-170 (In Persian).
- Alishah, O., MahmoodJanloo, H., Hekmat, M.H., Naderi Arefi, A., Sidmasoomi, S.Y. and Talat, F. (2019). Investigation of genotype × environment interaction and yield stability of hopeful cotton (*G. hirsutum* L.) genotypes. *Journal of Crop Breeding*, **11**: 226-236 (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. (2021a). Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing*, **11(1)**: 95-108 (In Persian).

- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F. and Khademhamzeh, H.R. (2021b). Investigation of genotype × environment interaction and seed yield stability of rapeseed genotypes in cold and mild cold regions of Iran. *Plant Genetic Researches*, **7(2)**: 65-82 (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. (2022). Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high seed yield and stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) multi-environment trials. *Agricultural Research*, **11(2)**: 185-196.
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. Gholizadeh, A. (2020). Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, **12(35)**: 202-212 (In Persian).
- Becker, H. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, **30**: 835-840
- Becker, H. and Léon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, **101**: 1-23.
- Dorrani-Nejad, M. and Mohammadi-Nejad, G. (2018). Stability analysis for seed yield in different fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) ecotypes using Eberhart-Russel regression and different univariate statistics methods. *Journal of Crop Breeding*, **10**: 19-27 (In Persian).
- Eberhart, S.T. and Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, **6**: 36-40.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, G.A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, M., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S.M. and Zali, H. (2018). Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research*, **8**: 333-344 (In Persian).
- Farshadfar, E. and Sutka, J. (2006). Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. *Acta Agronomica Hungarica*, **54**: 459-467.
- Finlay, K. and Wilkinson, G. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, **14**: 742-754.
- Fooladvand, M., Shahsavand, H., Mohamadinejad, G. and Parvizi, M. (2013). Genotype by environment interaction and study of sugar yield stability in the sugarcane cultivars in Khuzestan locations by stability criteria. *Cereal Research*, **2**: 31-44 (In Persian).
- Francis, T. and Kannenberg, L. (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **58**: 1029-1034.
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S.A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F. and Rezaeizad, A. (2022). Evaluation of seed yield stability of sunflower genotypes using non-parametric statistics. *Journal of Crop Production and Processing*, **12(1)**: 1-13 (In Persian).
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S.A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F. and Rezaeizad, A. (2021). Stability and genotype × environment analysis of oil yield of sunflower single cross hybrids in diverse environments of Iran. *Euphytica*, **217(10)**: 187.
- Gholizadeh, A., Ghaffari, M. and Shariati, F. (2021a). Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. *Journal of Crop Breeding*, **13(38)**: 116-123 (In Persian).
- Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Payghamzadeh, K. and Kia, S. (2021b). 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).
- Gholizadeh, A., Khodadadi, M. and Sharifi-Zagheh, A. (2022). Evaluation of genotype × environment interaction for essential oil yield of coriander genotypes under different irrigation conditions using GGE biplot method. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, **15(1)**: 43-52 (In Persian).
- Gholizadeh, A., Masoudi, B., Majidian, P., Payghamzadeh, K., Hezarjaribi, E. and Razmi, N. (2024). Evaluation of seed yield stability of soybean (*Glycine max* L. Merr) genotypes using nonparametric statistics methods. *Iranian Journal of Crop Sciences*, **26(3)**: 272-284 (In Persian).
- Hühn, M. (1979). Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. *EDV in Medizin und Biologie*, **10**: 112-117.
- Hühn, M. and Léon, J. (1995). Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal*, **87**: 627-632.
- Jafari, M., Asghari, Z.R., Alizadeh, B., Sofalian, O. and Zare, N. (2015). Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **45**: 585-592 (In Persian).
- Jamshidmoghaddam, M. and Pourdard, S.S. (2013). Genotype × environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, **190**: 357-369.
- Kang, M. (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*, **16**: 113-115.

- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A. and Rostami, B.** (2008). Determining rank and stability of lentil genotypes in rainfed condition by nonparametric statistics. *Journal of Crop Production and Processing*, **12**: 93-102 (In Persian).
- MINITAB, INC.** (2005). *Minitab User's Guide*, vers. 14. Minitab Inc, Harrisburg, Ennsylvania, USA.
- Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D. and Zare, N.** (2018). Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. *Journal of Crop Breeding*, **28**: 50-63 (In Persian).
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghogh, H., Shahbazi, K. and Sharifi, P.** (2018). Use of parametric and non-parametric methods for genotype \times environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genetic Researches*, **4**: 75-88 (In Persian).
- Movahhedi, Z., Dehghani, H. and Mofidian, M.** (2010). A study of yield stability in cold region ecotypes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) through non-parametric measures. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **40**: 103-111 (In Persian).
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H.** (2018). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences*, **20**: 126-138 (In Persian).
- Nassar, R. and Hühn, M.** (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, **43**: 45-53.
- Nowosad, K., Liersch, A., Popławska, W. and Bocianowski, J.** (2016). Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, **208**: 187-194.
- Pinthus, J.M.** (1973). Estimate of genotype value: a proposed method. *Euphytica*, **22**: 121-123.
- Plaisted, R. and Peterson, L.** (1959). A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Journal of Potato Research*, **36**: 381-385.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., Kadambot, H. and Siddique, M.** (2019). STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*, **7**(1): e01211.
- Pourdard, S., Moghaddam, M., Faraji, A. and Naraki, H.** (2014). Study on different non-parametric stability methods on seed yield of spring rapeseed varieties and hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **44**: 539-548 (In Persian).
- Ramzi, E., Asghari, A., Sofalian, O., Mehraban, A. and Ebadi, A.** (2020). Evaluation of grain yield stability and genotype-environment interaction of barley promising lines in warm and humid regions of the country. *Journal of Crop Breeding*, **12**(36): 57-65 (In Persian).
- SAS, INC.** (2011). *Base SAS 9.1 Procedures Guide*. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.
- Sheikh, F., Sharifi, H., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R.** (2021). Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Crop Production*, **14**(3): 125-144 (In Persian).
- Shukla, G.** (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*, **29**: 237-245.
- SPSS, INC.** (2010). *IBM SPSS Amos 20 User's Guide*. Amos development corporation, SPSS Inc, Chicago, USA.
- Thennarasu, K.** (1995). *On Certain Non-Parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Interactions and Yield Stability*. Dissertation, University of New Delhi, IND.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T. and Dorii, M.** (2017). GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, **45**: 500-511.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K.H.** (2019). Integrating different stability models to investigate genotype \times environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, **215**: 1-18.
- Wachira, F., Ng'etich, W., Omolo, J. and Mamati, G.** (2002). Genotype \times environment interactions for tea yields. *Euphytica*, **127**: 289-297.
- Wricke, G.** (1962). Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Zeitschr F Pflanzenz*, **47**: 92-96.
- Yan, W. and Kang, M.S.** (2003). *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan, W. and Rajcan, I.** (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, **42**: 11-20.
- Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A. and Zeinalabedini, M.** (2016). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, **8**(20): 77-90 (In Persian).

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A. and Hoseini, S.M.M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: introduction of new method. *Biological Forum–An International Journal*, **7(2)**: 703-711.