



Research Paper

A Study on the Yield Stability of Oilseed Sunflower Genotypes under Drought Stress

Nasrin Akbari¹ and Reza Darvishzadeh²

1- PhD student in Plant Breeding-Molecular Genetics and Genetic Engineering, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran (Corresponding author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

Received: 26 April, 2024

Accepted: 22 September, 2024

Extended Abstract

Background: The process of selecting and introducing compatible genotypes with high yield potential requires evaluation in different years and places. Due to the severe and rapid changes in climate, which confront crops with all kinds of stress, especially drought stress, it is expected that the cultivated area of crops, such as sunflower, which is highly desirable for planting due to its special characteristics, will decrease. Undoubtedly, improving drought tolerance and developing high-yielding cultivars is one of the most important goals in breeding programs. On the other hand, in the selection and introduction of varieties, performance, the most important feature of the breeding program, due to its polygenic nature, is strongly affected by biotic and abiotic stresses. Therefore, taking into account the quantitative control, and the effects of the environment and the interaction of the genotype \times environment, selection for this trait is complex, costly, and time-consuming. Therefore, understanding the genotype \times environment interaction is essential for the development of high-yielding and stable genotypes. Crop stability in the agricultural concept means no deviation from the expected product response. Based on this, several methods have been introduced for selection with optimal efficiency and high accuracy. Stability indices are divided into two main groups: parametric and non-parametric stability indices. Each of these two groups has advantages and disadvantages. Thus, if parametric methods are more capable of evaluating the interaction effects of the genotype \times environment and analysis of stability, non-parametric methods have a higher ability to analyze non-crossed interactions. However, it seems that the purpose of the plant breeder and the size of the studied sample are decisive in the superiority of these statistics. If the purpose of the plant breeder is only to rank genotypes among environments, non-parametric statistics are more suitable. If the sample size is small, the use of parametric statistics will be more appropriate than non-parametric ones, but if the sample size is large, the efficiency of both types of stability indices will be equal. It seems that using both stability indices helps in selecting genotypes with stable performance. In this research, it was tried to obtain comprehensive information about the studied genotypes using both groups of stability indices.

Methods: One hundred oilseed sunflower genotypes were evaluated in a 10×10 simple lattice design under two normal and drought stress (irrigation limitation) conditions during 2012 and 2013 (four environments) in terms of seed yield in Qezelgeh village in West Azerbaijan, Iran. For this purpose, cultivation was done in lines with 5-meter long. The distance between the lines was 60 cm, and the distance between the plants on the lines was 50 cm. The criterion for applying the treatment was the rate of evaporation from the class A evaporation pan. In both years, the field was irrigated up to the 8-leaf stage in both normal and limited irrigation experiments after 90 mm of evaporation from the Class A evaporation pan. From the 8-leaf stage onwards in the normal irrigation experiment, irrigation continued in the same way until the end of the growing season. In limited irrigation, irrigation was done after 180 mm of evaporation from the Class A evaporation pan. Parametric and non-parametric stability indices were used to select genotypes with high and stable performance. In this regard, the analysis of variance (ANOVA) was done with a mixed linear model, considering the environment and genotype as fixed effects and the year and replication as random effects. SAS software version 4.9 was used for ANOVA, and the



STABILITYSOFT program under the R environment was used for stability analysis. Stability analysis was done with seven different parametric methods (based on ANOVA and regression analysis) and 11 non-parametric methods. Moreover, the STABILITYSOFT program was used to show the relationship between different stability indices in the form of a heat map plot.

Results: Based on the results of combined ANOVA, the effects of the genotype and genotype \times environment were significant. Considering the variability observed among genotypes and the different reactions of genotypes from one environment to another, stability analysis was done with different parametric and non-parametric methods to select stable genotypes. Based on the correlation results, the average yield (MY) with S(3) statistics at the 5% probability level and with S(6), NP(2), NP(3), NP(4), GE ($\theta(i)$), and Kang statistics at the 1% probability level showed a negative correlation and with NP(1), Wi^2 , σ^2 , Reg, MV (θ_i) and Sdi^2 statistics at the 1% level showed positive and significant correlations. In particular, the three Shukla's statistics (σ^2), Wick's equivalence (Wi^2), and MV (θ_i) parameters showed a positive correlation with yield. Based on all parametric and non-parametric stability parameters, the AS613 genotype was introduced as a genotype with high yield and stability.

Conclusion: The stability indices, which evaluate the stability of genetic materials, can be beneficial to a large extent in the optimal and efficient selection of parental genotypes for developing high-yielding and stress-tolerant cultivars.

Keywords: Compatibility, Stability analysis, Sunflower, Water deficit stress, Yield

How to Cite This Article: Akbari, N., & Darvishzadeh, R. (2024). A Study on the Yield Stability of Oilseed Sunflower Genotypes under Drought Stress. *J Crop Breed*, 16(4), 129-141. DOI: [10.61186/jcb.16.4.129](https://doi.org/10.61186/jcb.16.4.129)



مقاله پژوهشی

بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی تحت تنش خشکی

نسرین اکبری^۱ و رضا درویش‌زاده^۲

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات-ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 ۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (نویسنده مسؤل: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۷

صفحه: ۱۲۹ تا ۱۴۱

چکیده مسبوط

مقدمه و هدف: فرآیند انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های سازگار با پتانسیل عملکرد بالا، نیازمند ارزیابی در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. با توجه به تغییرات شدید و سریع اقلیمی، که محصولات زراعی را با انواع تنش‌ها بخصوص تنش خشکی مواجه می‌سازد؛ پیش‌بینی می‌شود سطح زیرکشت محصولاتی مانند آفتابگردان، که به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاصی از مقبولیت بالایی جهت کشت برخوردار است کاهش یابد. بی‌شک بهبود توان مقاومت به خشکی و توسعه ارقام پرمحصول از مهم‌ترین اهداف در برنامه‌های به‌نژادی گیاه است. از سوی دیگر در گزینش و معرفی ژنوتیپ، عملکرد مهم‌ترین صفت برنامه اصلاحی است؛ که به دلیل طبیعت پلی‌ژنیکی که دارد، شدیداً متأثر از تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. بنابراین با در نظر گرفتن کمی بودن کنترل آن، و اثرات محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، گزینش برای این صفت پیچیده، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد؛ بنابراین درک برهمکنش ژنوتیپ در محیط جهت توسعه ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار حیاتی است. پایداری محصول در مفهوم زراعی به معنی عدم انحراف از پاسخ پیش‌بینی شده برای محصول می‌باشد. بر این اساس روش‌های متعددی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار با صحت بالا ارایه شده‌اند. این روش‌ها به دو گروه عمده شاخص‌های پایداری پارامتری و ناپارامتریک تفکیک می‌شوند. هریک از این دو گروه دارای مزایا و معایبی هستند. به طوری که اگر روش‌های پارامتری در ارزیابی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط و تجزیه پایداری توانمندتر هستند، روش‌های ناپارامتریک قابلیت بالاتری در تجزیه برهمکنش‌های غیرمتقاطع دارند. اما به نظر بیشتر هدف اصلاح گر و همچنین اندازه نمونه مورد مطالعه است که در برتری این آماره‌ها نسبت به هم تعیین کننده می‌باشد. چنانچه هدف اصلاح گر فقط رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در بین محیط‌ها باشد، آماره‌های ناپارامتریک مناسب‌تر هستند. در صورت کوچک بودن اندازه نمونه، استفاده از آماره‌های پارامتری در مقایسه با ناپارامتری مناسب‌تر خواهند بود، اما در صورت بزرگ بودن اندازه نمونه کارایی هر دو نوع آماره برابر خواهد بود. به نظر می‌رسد استفاده از مجموع هر دو شاخص‌های پایداری کمک شایانی در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار می‌نماید. در این پژوهش سعی گردیده است با استفاده از هر دو گروه شاخص‌ها به اطلاعات جامع از پایداری ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دست یافت.

مواد و روش‌ها: تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ تحت دو شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) طی دو سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ (چهار محیط) از نظر صفت عملکرد دانه ارزیابی شدند. این پژوهش در روستای قزله در آذربایجان غربی انجام گرفت. به این منظور کشت در خطوط به طول ۵ متر انجام گرفت. فاصله بین خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر و بین بوته‌ها در روی خطوط کشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. معیار اعمال تیمار میزان تبخیر از تشتک تیخیر کلاس A در نظر گرفته شد. در هر دو سال، تا مرحله ۸ برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش آبیاری معمول و آبیاری محدود بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تیخیر کلاس A انجام گرفت. از مرحله ۸ برگی به بعد در آزمایش آبیاری معمول آبیاری تا انتهای فصل رشد به همین منوال ادامه یافت. اما در آبیاری محدود، آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تیخیر کلاس A انجام گرفت. جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار از آماره‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری استفاده گردید. در این راستا ابتدا تجزیه واریانس با مدل خطی مخلوط و رویه mixed با در نظر گرفتن محیط و ژنوتیپ به عنوان اثر ثابت و سال و تکرار به عنوان اثر تصادفی انجام گرفت. از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ برای تجزیه واریانس و برنامه STABILITYSOFT تحت محیط R برای تجزیه پایداری استفاده شد. تجزیه پایداری با ۷ روش مختلف پارامتریک (مبتنی بر تجزیه واریانس و مبتنی بر رگرسیون) و ۱۱ روش ناپارامتریک انجام گرفت. همچنین ارتباط میان آماره‌های مختلف پایداری در قالب یک Heat map plot با استفاده از برنامه STABILITYSOFT ارایه گردید.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. با توجه به تنوع مشاهده شده بین ژنوتیپ‌ها و واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر، به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار، تجزیه پایداری با روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری انجام گرفت. بر اساس نتایج همبستگی، میانگین عملکرد (MY) با آماره S(3) در سطح احتمال پنج درصد، با آماره‌های S(6)، NP(2)، NP(3)، NP(4)، GE(θ(i)) و Kang در سطح احتمال یک درصد همبستگی منفی و با آماره‌های NP(1)، W_i²، Reg، θ_i، MV(θ_i) و Sd_i² در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. سه شاخص آماره شوکلا (σ_i²)، اکووالانس ریک (W_i²) و MV(θ_i) با عملکرد همبستگی مثبت نشان دادند. به طوری که استفاده از آنها به‌جای هم امکان‌پذیر بوده و کارایی دارد. بر اساس جمع شاخص‌های پارامتری و ناپارامتری ژنوتیپ AS613 به عنوان ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایداری مطلوب معرفی شد.

نتیجه‌گیری: معرفی و استفاد از شاخص‌های پایداری، به واسطه ارزیابی پایداری مواد ژنتیکی تا حد زیادی می‌تواند در گزینش هدفمند ژنوتیپ‌ها در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب و کارآمد و توسعه ارقام پرمحصول و متحمل به تنش سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تنش کمبود آب، تجزیه پایداری، سازگاری، عملکرد

مقدمه

بخش‌های آن از مقبولیت بالایی جهت کشت برخوردار است (Chakraborty et al., 2022; Darvishzadeh et al., 2011). طی شش سال گذشته آفتابگردان از پنجمین رتبه در میان محصولات دانه روغنی در جهان به سومین رتبه در سال ۲۰۲۲ ارتقا یافته است (Seiler and Gulya, 2016; Seiler et al., 2017).

بالاترین تولید آفتابگردان در ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای حاصل می‌گردد (Rinaldi et al., 2003). لذا کمبود

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، مهمترین محصول دانه روغنی در جهان با مصارف متعدد شامل استفاده در تغذیه، درمان و صنعت است (Fernandez et al., 2019; Radanovic et al., 2018; Rauf, 2019; Yaşar et al., 2023). آفتابگردان، با دارا بودن دوره رشد کوتاه، نیاز کم به آب و سازش‌پذیری با شرایط مختلف آب و هوایی و خاک، دارا بودن پرتوتین و روغن با کیفیت بالا و قابل استفاده بودن تمام

Eberhart & Russell, 1966; Finlay & Wilkinson, 1968) هستند. چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty et al., 2022) به کارایی روش‌های پارامتری انحراف از رگرسیون و ضریب رگرسیون در ارزیابی پایداری محتوای روغن و عملکرد در هیبریدهای آفتابگردان اشاره و این دو آماره را در ارزیابی پایداری پارامترهای زراعی توانمند معرفی کردند. از آماره‌های پارامتری پایداری در ارزیابی پایداری عملکرد در نیشکر (Rea et al., 2017)، عدس (Akbari et al., 2022)، سویا (Goksoy et al., 2019) و گلرنگ (Golkar et al., 2020) استفاده شده است.

روش‌های ناپارامتری پایداری شامل آماره‌های نثار و هون $S_i(1)$ ، $S_i(2)$ (Nassar & Huehn, 1987)، معادله هون $S_i(3)$ و $S_i(6)$ (Huehn, 1979)، تناز او (Tiennarasu, 1995)، $NP_i(1)$ ، $NP_i(2)$ ، $NP_i(3)$ و $NP_i(4)$ ، معیارهای ناپایداری مبتنی بر تغییر رتبه (Hühn, 1996) و یا مجموع رتبه کل کانگ (Kang, 1988)، TOP-FOX (Fox et al., 1990) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) (Kang, 1993) می‌باشند. رویکردهای آماره‌های ناپارامتریک بر مبنای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر میانگین متغیر پاسخ (صفت) می‌باشد. این روش‌ها برخلاف روش‌های پارامتری متأثر از داده پرت نبوده و به هیچ فرضی در مورد توزیع مقادیر مشاهده شده وابسته نیستند. غیرمستقل بودن و ناپیکناختی واریانس خطا و افزودن یا حذف یک یا چند ژنوتیپ تأثیر کمی بر نتایج حاصل از آنها دارد. از این‌رو، استفاده از آماره‌های ناپارامتریک و تفسیر اثرات GEI با این آماره‌ها آسان است (Kaya & Taner, 2003; Pour-Aboughadareh et al., 2022). با این وجود مطابق نظر اکثر محققین از جمله شوستری و همکاران (Shooshtari et al., 2013) روش‌های پارامتری در ارزیابی اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط و تجزیه پایداری توانمندتر هستند. باللیچ و همکاران (Balalic et al., 2011) بیان داشتند روش‌های ناپارامتریک قابلیت بالاتری در تجزیه برهمکنش‌های غیرمقاطع^۲ دارند. از سوی دیگر، هدف اصلاح‌گر و اندازه نمونه مورد مطالعه نیز در برتری این آماره‌ها نسبت به هم تعیین کننده هستند. اگر هدف اصلاح‌گر فقط رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در بین محیط‌ها باشد، آماره‌های ناپارامتریک مناسب‌تر هستند. اگر اندازه نمونه کوچک باشد، استفاده از آماره‌های پارامتری در مقایسه با ناپارامتری مناسب‌تر خواهند بود، اما در صورت بزرگ بودن اندازه نمونه کارایی هر دو نوع آماره برابر خواهد بود (Flores et al., 1998; Raiger & Prabhakaran, 2001). به نظر می‌رسد استفاده از مجموع هر دو شاخص‌های پایداری کمک شایانی در گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار می‌نماید. در کنار آماره‌های پایداری پارامتری از آماره‌های پایداری ناپارامتری نیز در ارزیابی پایداری عملکرد روغن هیبریدهای آفتابگردان (Balalic et al., 2011) و ارزیابی پایداری عملکرد نیشکر (Rea et al., 2017)، سویا (Goksoy et al., 2019)، گلرنگ (Golkar et al., 2020)، برنج (Mohtashami, 2023) و چغندرقد (Saremirad & Taleghani, 2022) استفاده شده است. این پروژه با هدف ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های آفتابگردان موجود در

آب طی دوره رشد، به‌خصوص در مراحل رویشی و گلدهی، کاهش ۲۹ درصدی عملکرد را به‌همراه دارد (Velu & Palanisami, 2001). با گسترش تغییرات اقلیمی پیش‌بینی می‌شود سطح مناطقی که بدون مواجهه با تنش خشکی بتوان کشت آفتابگردان را انجام داد، به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (Dufresne et al., 2006). بنابراین بی‌شک بهبود توان مقاومت به خشکی و توسعه ارقام پرمحصول از مهم‌ترین اهداف در برنامه‌های به‌نژادی آفتابگردان به‌شمار می‌رود (Fick & Miller, 1997; Ghaffari and Shariati, 2018). عملکرد دانه به دلیل طبیعت پلی‌ژنیک شدیداً متأثر از تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. با این وجود تغییر عملکرد بسته به ژنوتیپ رقم متفاوت است که از آن به برهمکنش ژنوتیپ در محیط یاد می‌شود. بنابراین بررسی و درک برهمکنش ژنوتیپ در محیط جهت توسعه ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار حیاتی است. آزمایشات چندمحیطی و تجزیه واریانس مرکب و تجزیه پایداری نقش مؤثر در شناسایی و تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط دارند (Alizadeh et al., 2020). با تجزیه پایداری، ژنوتیپ‌های با کمترین تأثیرپذیری از برهمکنش $G \times E$ به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد پایدار در محیط‌های مختلف شناسایی می‌شوند (Pour-Aboughadareh et al., 2022). بیکر (Becker, 1981; Becker & Leon, 1988) دو مفهوم متمایز از پایداری شامل مفهوم زیستی (بیولوژیکی، پایا، یا استاتیک) و مفهوم پویا (دینامیک، زراعی) را ارائه نمود. در مفهوم زیستی، ژنوتیپی پایدار معرفی می‌شود، که دارای حداقل واریانس تحت شرایط محیطی مختلف می‌باشد، به‌عبارتی واریانس محیطی نزدیک به صفر داشته باشد، که معادل مفهوم بیولوژیکی پایداری است. اما براساس مفهوم پویا (دینامیک، زراعی) یک ژنوتیپ پایدار، باید حداقل برهمکنش را با محیط نشان دهد. در واقع هیچ انحرافی از پاسخ پیش‌بینی شده نشان ندهد، که این مفهوم مشابه مفهوم زراعی پایداری است (Messina et al., 2011). البته از نظر پور-ابوقدره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2022) طبقه‌بندی پارامترهای پایداری به مفاهیم پویا و ایستا، مطلق نبوده و به ماهیت داده‌ها و محیط‌های آزمایشی بستگی دارد. بنابراین نیاز به مدل‌سازی برهمکنش $G \times E$ در آزمایش‌های چندگانه^۱ (METs) برای شناسایی ژنوتیپ‌ها با سازگاری‌های عمومی و اختصاصی است (Aarhi et al., 2020).

روش‌های تجزیه پایداری به دو گروه پارامتری و ناپارامتری تفکیک می‌شوند. مدل‌های آماری تجزیه پایداری پارامتری خود به دو گروه تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌گردند (Ebdon & Gauch Jr, 2002; Pour-Aboughadareh et al., 2022). آماره‌های پارامتری تک‌متغیره، شامل روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس (شامل: واریانس محیطی S_i^2)، ضریب تغییرات محیطی (CV_i) ، روش پلستد و پترسون (θ_i) ، روش مؤلفه واریانس پلستد θ_i ، اکووالانس ریک (W_i^2) ، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) ، (Francis & Kannenberg, 1978; Plaisted, 1960; Pourdad & Mohammadi, 2007; Roemer, 1917; Shukla, 1972; Wricke, 1962) و روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون (شامل: رگرسیون فیلی و ویلکینسون (b_i) ، پرکینز و جینکز (b_i) و ابرهارت و راسل)

2019). این بسته (STABILITYSOFT) در کنار انجام تجزیه پایداری، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در روش‌های مختلف پایداری را انجام می‌دهد و همچنین ارتباط میان آماره‌های مختلف پایداری را در قالب یک Heat map plot در خروجی ارائه می‌نماید (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019). توصیف آماره‌های پایداری در فایل تکمیلی ۲ ارائه شده است. استفاده از داده‌های زمان گذشته (Historic data) به منظور شناسایی والدین با نمود فنوتیپی مناسب و پایدار جهت انجام تلاقی و تولید جمعیت‌های در حال تفرق در راستای تولید ارقام پرمحصول و متحمل به تنش بود. استفاده از داده‌های زمان گذشته بانک‌های ژن در فعالیت‌های مختلف به‌نژادی از قبیل تجزیه دی‌الل (انتخاب والدین تلاقی)، تجزیه پیوستگی و نقشه‌یابی QTL (انتخاب والدین جمعیت نقشه)، نقشه‌یابی ارتباطی و گزینش ژنومی مرسوم است (Dawson *et al.*, 2013; Khaki *et al.*, 2020; Ballén-Taborda *et al.*, 2022; Alemu *et al.*, 2024; Fernández-González *et al.*, 2024). با توجه به تجدید بذر لاین‌ها در بانک‌های ژن گیاهی، براساس نتایج تجزیه و تحلیل‌ها می‌توان در هر زمانی نمونه‌های مطلوب موردنظر را شناسایی و مورد استفاده قرار داد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه که طی دو سال متوالی در شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) ارزیابی شده است در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت که حاکی از تنوع ژنتیکی برای عملکرد می‌باشد. از طرفی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار می‌باشد که نشان می‌دهد عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر متفاوت می‌باشد. بنابراین به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار، تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف انجام گرفت.

ژرم‌پلاسم آفتابگردان دانه روغنی دانشگاه ارومیه در دو محیط نرمال و تنش خشکی به‌منظور شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار در محیط‌های مورد مطالعه انجام گردیده است. نتایج حاصل می‌تواند در توسعه هیبریدهای پرمحصول و پایدار آفتابگردان نقش مؤثر داشته باشد.

مواد و روش‌ها

یکصد ژنوتیپ آفتابگردان (فایل تکمیلی ۱) در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ تحت دو شرایط نرمال و محدودیت آبیاری در روستای قزله شهرستان سلماس با متوسط میزان بارندگی سالیانه ۳۸۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد (<http://en.climate-data.org/location/1784/>) طی دو سال متوالی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ از لحاظ عملکرد دانه ارزیابی شدند. کشت در خطوط به طول ۵ متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از هم‌دیگر و ۵۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها در روی خطوط انجام گرفت. در هر دو سال، تا مرحله ۸ برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش آبیاری معمول و آبیاری محدود بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. از مرحله ۸ برگی آبیاری آزمایش آبیاری معمول تا انتهای فصل رشد به‌همین منوال ادامه یافت. در آزمایش آبیاری محدود، از مرحله ۸ برگی به بعد آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت.

تجزیه‌های آماری

تجزیه مرکب داده‌های حاصل از ۲ سال و ۲ محیط شامل آزمایش آبیاری معمول و آزمایش آبیاری محدود در هر سال با مدل خطی مخلوط رویه mixed با در نظر گرفتن محیط و ژنوتیپ به‌عنوان اثر ثابت و سال و تکرار به‌عنوان اثر تصادفی در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. یکنواختی واریانس‌ها با آزمون F_{Max} هارتلی که به‌صورت نسبت بزرگترین واریانس به کوچکترین می‌باشد، بررسی گردید. تجزیه پایداری به روش‌های مختلف با استفاده از برنامه STABILITYSOFT¹ تحت محیط R انجام گرفت (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019).

جدول ۱- میانگین مربعات اثرات ثابت در جدول تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در آفتابگردان تحت شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) طی دو سال زراعی

Table 1. Mean square of fixed effects in combined analysis of variance for seed yield in sunflower under normal and drought stress (limited irrigation) conditions during two years

منابع تغییرات (Sources of variations)	درجه آزادی (df)	عملکرد (Yield)
محیط (Environment)	1	7.18 ^{ns}
ژنوتیپ (Genotype)	99	1.76**
ژنوتیپ × محیط (Genotype × Environment)	99	1.44**

^{ns} و ^{**} به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

^{ns} and ^{**} represent non-significant and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۲- واریانس اثرات تصادفی در جدول تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در آفتابگردان تحت شرایط نرمال و تنش خشکی (محدودیت آبیاری) طی دو سال

Table 2. Variance of random effects in combined analysis of variance for seed yield in sunflower under normal and drought stress (limited irrigation) conditions during two years

منابع تغییرات (Sources of variations)	عملکرد (Yield)
سال (Year)	0
محیط × سال (Environment × Year)	13.56
تکرار (تکرار (محیط × سال)) (Replication (Environment × Year))	80.99
بلوک (سال × محیط × تکرار) (Block (Year × Environment × Replication))	21.28
سال × ژنوتیپ (Year × Genotype)	54.91
سال × محیط × ژنوتیپ (Year × Environment × Genotype)	0
اشتباه آزمایشی (Experimental error)	307.84

از یک و عملکرد به‌ترتیب ۵۷/۴۱، ۳۶/۶۹ و ۵۸/۸۸ گرم در بوته که بالاتر از میانگین کل می‌باشند، به محیط‌های پربازده سازگاری بیشتری دارند. ژنوتیپ‌های H603R، 9CSA3 و SDB2 با ضریب رگرسیون پایین‌تر از یک و دو ژنوتیپ H603R، SDB2 با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، سازگاری بیشتر به محیط‌های کم‌بازده دارند. براساس روش فیملی و ویلکینسون ژنوتیپ پایدار ژنوتیپی می‌باشد که ضریب رگرسیونی (b_i) برابر با یک و میانگین مربعات انحرافات از رگرسیون صفر (حداقل) و میانگین عملکرد بالا داشته باشد. در این راستا، $b_i > 1$ مشخصه ژنوتیپ‌های با حساسیت بالاتر نسبت به تغییرات محیطی و ویژگی سازگاری بیشتر به محیط‌های پربازده می‌باشد. حالت $b_i < 1$ معیاری از مقاومت بیشتر در برابر تغییرات محیطی؛ به‌عبارتی سازگاری بالا با محیط‌های کم‌بازده است (جدول ۳).

در تجزیه رگرسیون بر اساس روش ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های ASO-1-POP-A، 1009329.2(100K) و AS613 دارای کمترین میانگین مربعات انحراف از رگرسیون (Sd_i^2) بودند. کمترین میزان واریانس، پایداری بیشتر ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. اما فقط ژنوتیپ AS613 از نظر میانگین، بالاتر از میانگین کل بود. در مقابل بیشترین میزان واریانس در ژنوتیپ‌های 254-ENSAT و B454/03 مشاهده شد که حاکی از پایداری کم این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد آزمایش می‌باشد. این ژنوتیپ‌ها علی‌رغم میانگین عملکرد بالا، دارای نوسان عملکرد بالا هستند.

مجموع رتبه کنگ یکی از شاخص‌های تک‌متغیره ناپارامتری می‌باشد که براساس رتبه عملکرد و واریانس پایداری شوکلا به‌دست می‌آید. مقادیر کم آن نشان‌دهنده عملکرد بالا و میزان کم اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌باشد. بر پایه این روش ژنوتیپ HA335B، H209A/H566R و AS613 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالاتر از میانگین کل و ژنوتیپ 9CSA3 به‌عنوان ژنوتیپ ناپایدار با میانگین عملکرد کمتر از میانگین کل شناخته شدند. با در نظر گرفتن تمام شاخص‌های پارامتری پایداری ژنوتیپ AS613 به‌دلیل داشتن عملکردی بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و سازگار معرفی می‌شود.

ژنوتیپ ASO-1-POP-A کمترین ضریب تغییرات اما میانگین عملکرد پایین‌تر از میانگین کل داشت که نشان می‌دهد دارای پایداری بیولوژیکی بوده و از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشد. در مقابل ژنوتیپ SDB2 با ضریب تغییرات کم اما میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل بود؛ بنابراین براساس این شاخص، ژنوتیپی با پایداری بالا ارزیابی می‌شود. ژنوتیپ‌های LP-SCYB، 5AS-F1/A2*R5AS-F1/A2*R2 و 12AASB3 به‌ترتیب دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات و به‌عبارتی کمترین میزان پایداری بودند. ژنوتیپ LP-SCYB دارای میانگین بالاتر از میانگین کل و دو ژنوتیپ 12AASB3 و 5AS-F1/A2*R5AS-F1/A2*R2 دارای میانگین پایین‌تر از میانگین کل بودند.

بر اساس نتایج حاصل از روش واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپ‌های AS613، CAY و 1009329.2(100K) به‌ترتیب به‌علت داشتن کمترین مقدار واریانس، جزء ژنوتیپ‌های پایدار بودند. عملکرد این ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب برابر ۳۷/۲۲، ۲۶/۹۳ و ۲۰/۰۲ گرم در بوته در مقایسه با متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها که برابر ۳۱/۷۰ گرم در بوته می‌باشد، بود. در مقابل ژنوتیپ‌های 254-ENSAT، B454/03 و LP-SCYB به‌ترتیب با دارا بودن بالاترین مقدار واریانس ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). همین نتایج با اکووالانس ریک نیز مشاهده شد. بر اساس روش پلستید و پترسون (θ_i) ژنوتیپ‌های AS613، CAY و 1009329.2(100K) کمترین میزان θ_i را نشان دادند. مقادیر کمتر این آماره نشان از آن دارد که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتر در اثر متقابل دارند. در بین این ژنوتیپ‌ها، AS613 عملکرد بالاتر از میانگین کل داشت.

براساس نتایج تجزیه رگرسیون فیملی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های AS613، CAY، ایرانی 4 و H209A/H566R ضریب رگرسیون نزدیک به یک داشتند. از بین این ژنوتیپ‌ها میانگین ژنوتیپ AS613 و H209A/H566R بالاتر از میانگین کل بود. در این بین ژنوتیپ AS613 کمترین میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون را نشان داد. بنابراین ژنوتیپ AS613 با ضریب رگرسیون نزدیک به یک، میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون کمتر و عملکرد بالاتر از میانگین کل دارای سازگاری عمومی مطلوب می‌باشد. ژنوتیپ‌های LP-SCYB، B454/03 و 8ASB2 با ضریب رگرسیون بالاتر

جدول ۳- برآورد آماره‌های پایداری عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های آفتابگردان ارزیابی شده تحت شرایط نرمال و تنش خشکی طی دو سال زراعی
Table 3. Estimated stability parameters for grain yield in sunflower genotypes evaluated under normal and drought stress conditions during two cropping years

رتبه کل Total rank	روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون Methods based on regression analysis			روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس Methods based on analysis of variance			ضریب تغییرات محیطی (فرانسیس و کانتبرگ) Coefficient of environmental variations (Francis and Kannenberg) CVi	میانگین عملکرد (گرم) Yield average (gr)	شماره ژنوتیپ Genotype number
	انحراف از رگرسیون اِبهرارت و راسل Eberhart and Russell S _{ad} ²	ضریب رگرسیون فینلی ولیکینسون Finlay and Wilkinson bi	مؤلفه واریانس (پلاستد) GE variance component (Plasted) (θ ₀)	مؤلفه واریانس میانگین (پلاستد و پترسون) Mean variance component (Plasted and Peterson) (θ ₁)	اکووالانس ریک Wricke W _i ²	شوکلای Shukla σ _i ²			
107	36.06	1.68	217.75	193.04	494.91	166.12	75.41	31.82	1
104	220.95	0.81	214.07	373.17	1564.84	530.04	54.97	45.67	2
138	64.24	0.61	217.63	198.70	528.51	177.55	61.22	23.94	3
72	59.02	0.93	218.02	179.73	415.86	139.23	41.20	41.14	4
96	96.11	1.63	216.42	258.17	881.77	297.71	61.14	42.89	5
110	28.85	0.71	218.60	151.31	247.02	81.80	49.15	25.24	6
110	87.33	0.72	217.21	219.38	651.34	219.33	49.06	34.98	7
101	732.57	2.13	199.56	1084.52	5790.28	1967.27	83.11	60.11	8
89	33.37	1.13	218.62	150.47	242.01	80.10	58.92	29.33	9
88	0.73	0.83	219.38	113.01	19.53	4.43	55.26	20.02	10
112	87.83	0.48	216.85	237.11	756.67	255.15	44.25	35.35	11
33	0.80	1.07	219.42	111.11	8.25	0.59	38.10	37.23	12
132	95.87	0.23	216.08	274.67	979.76	331.04	49.84	30.62	13
75	45.05	0.93	218.36	163.29	318.16	106.00	42.68	37.36	14
54	16.52	0.67	218.86	138.61	171.55	56.13	29.05	37.25	15
139	183.71	0.22	213.94	379.52	1602.59	542.88	63.16	33.10	16
119	10.87	0.63	218.94	134.72	148.50	48.29	70.29	13.77	17
94	16.23	1.78	217.96	182.52	432.40	144.86	68.77	35.31	18
84	24.00	0.71	218.72	145.36	211.66	69.78	40.01	29.96	19
142	33.26	0.57	218.32	165.15	329.21	109.76	76.30	15.17	20
131	1.81	0.39	218.75	144.12	204.29	67.27	49.91	11.18	21
91	96.23	1.79	216.02	277.93	999.13	337.62	57.56	48.56	22
147	80.51	1.22	217.43	208.83	588.67	198.01	99.70	21.19	23
90	39.14	2.97	211.55	496.87	2299.67	779.98	68.47	58.88	24
168	59.02	-0.32	214.91	332.23	1321.69	447.34	53.15	23.47	25
66	60.57	1.35	217.77	192.03	488.88	164.07	45.53	47.08	26
66	7.77	1.21	219.18	122.70	77.06	24.00	56.51	29.18	27
151	85.82	1.73	216.44	257.31	876.68	295.97	105.61	25.39	28
62	3.63	1.28	219.22	120.96	66.73	20.48	58.11	29.50	29
39	10.11	0.77	219.11	126.28	98.33	31.23	29.34	38.35	30
91	47.34	0.88	218.29	166.76	338.82	113.03	46.18	33.91	31
98	22.41	0.56	218.56	153.42	259.54	86.06	35.90	28.68	32
37	7.03	1.49	218.85	139.00	173.92	56.94	44.77	44.76	33
82	21.06	1.95	217.33	213.77	618.03	208.00	62.40	42.70	34
136	127.85	-0.63	211.59	494.72	2286.90	775.64	56.32	34.07	35
115	25.17	1.09	218.83	140.07	180.24	59.09	83.77	19.41	36
144	27.52	0.07	217.23	218.46	645.87	217.47	33.07	24.38	37
84	43.36	0.53	218.02	179.81	416.33	139.39	32.67	37.59	38
59	35.63	0.89	218.57	152.72	255.41	84.66	36.94	40.29	39
114	42.82	1.86	217.10	224.92	684.28	230.53	78.00	33.93	40
95	1.65	2.57	215.01	327.04	1290.83	436.84	66.56	50.92	41
140	6.67	0.25	218.29	166.54	337.47	112.57	32.74	15.78	42
131	115.34	3.20	208.00	670.77	3332.64	1131.33	123.39	36.69	43
108	16.43	0.49	218.58	152.33	253.07	83.86	34.01	26.18	44
57	26.28	1.25	218.71	146.02	215.59	71.11	46.81	38.87	45
156	89.03	0.04	215.66	295.37	1102.74	372.87	56.23	25.65	46
136	47.18	0.50	217.87	187.12	459.74	154.16	54.36	22.81	47
108	7.26	2.44	215.56	300.42	1132.74	383.07	80.79	40.15	48
90	28.88	2.29	215.79	289.06	1065.27	360.12	60.82	51.37	49
125	10.44	0.51	218.77	143.10	198.23	65.21	33.25	15.66	50
125	13.02	2.43	215.49	303.58	1151.47	389.44	91.81	35.35	51
75	7.57	0.93	219.26	119.11	55.75	16.75	49.03	26.35	52
139	81.65	0.38	216.80	239.51	770.92	260.00	54.69	26.86	53
109	24.65	0.91	218.84	139.53	177.07	58.01	67.04	21.11	54
102	68.91	1.27	217.66	197.42	520.89	174.96	61.97	33.92	55
121	56.08	1.77	217.03	228.30	704.34	237.36	81.12	32.08	56
94	48.23	2.38	214.89	333.23	1327.64	449.36	57.28	57.77	57
119	79.21	0.57	217.21	219.32	650.99	219.21	48.83	31.81	58
160	6.63	0.04	217.64	198.45	527.02	177.04	30.78	12.89	59
103	144.73	3.99	200.00	1062.92	5661.99	1923.63	96.97	57.41	60
53	16.75	0.90	219.03	130.29	122.16	39.33	37.97	35.40	61
86	77.65	0.82	217.52	204.16	560.97	188.59	43.72	39.43	62
29	4.48	1.15	219.30	117.04	43.48	12.57	39.40	39.42	63
89	4.98	0.97	219.33	115.70	35.48	9.85	65.09	20.23	64
119	19.19	0.72	218.84	139.40	176.27	57.74	73.90	15.66	65
164	200.45	0.46	214.11	371.15	1552.84	525.96	88.85	25.30	66
88	54.03	1.78	217.05	227.06	696.96	234.84	58.54	44.47	67
77	15.53	2.01	217.26	217.24	638.62	215.00	57.84	46.93	68
143	47.38	0.80	218.24	169.09	352.64	117.73	85.78	17.35	69
84	81.33	0.65	217.28	216.03	631.48	212.57	38.72	41.98	70
111	7.47	0.54	218.89	137.04	162.28	52.98	44.33	18.63	71
130	28.38	0.68	218.58	152.11	251.76	83.41	72.91	16.61	72
54	19.45	1.11	218.96	133.64	142.06	46.10	43.92	36.58	73
102	14.33	0.86	219.07	128.25	110.01	35.20	64.72	19.73	74
68	4.23	0.58	219.03	130.19	121.54	39.12	27.49	30.07	75
29	4.11	1.09	219.34	115.26	32.90	8.97	37.90	38.75	76
113	0.24	0.13	218.09	176.29	395.37	132.26	6.63	28.35	77
118	27.33	0.97	218.79	142.02	191.85	63.04	85.32	17.64	78
139	23.36	0.01	217.13	223.25	674.35	227.15	27.99	26.38	79
115	43.79	0.73	218.27	167.58	343.69	114.68	52.86	26.45	80
63	0.94	1.08	219.41	111.46	10.31	1.29	53.38	26.93	81
75	7.07	0.74	219.16	124.09	85.33	26.81	39.39	26.76	82
71	4.09	0.74	219.23	120.41	63.50	19.38	38.18	26.84	83
88	114.20	0.64	216.47	255.78	867.57	292.87	39.45	46.55	84
95	3.35	0.34	218.59	151.78	249.82	82.75	18.47	28.66	85
106	43.71	-0.05	216.44	257.12	875.55	295.59	26.78	37.77	86
123	32.97	0.68	218.47	157.81	285.63	94.94	54.98	22.74	87
129	40.00	1.09	218.47	157.60	284.36	94.50	88.39	19.60	88
141	30.56	0.62	218.46	158.21	288.02	95.75	84.52	13.94	89
59	7.70	1.29	219.11	126.42	99.14	31.51	53.63	32.79	90
47	7.14	1.39	219.00	131.64	130.19	42.06	49.90	37.67	91
70	6.99	0.67	219.08	127.68	106.63	34.05	33.15	29.19	92
123	19.03	0.36	218.25	168.34	348.16	116.21	32.29	25.28	93
95	14.64	2.31	216.02	277.58	997.05	336.92	69.19	44.81	94
54	28.60	1.17	218.71	146.09	215.98	71.25	43.48	40.25	95
110	5.11	0.45	218.79	142.04	191.93	63.06	30.55	22.57	96
140	62.48	0.56	217.60	200.18	537.30	180.54	60.14	23.56	97
141	155.91	0.01	213.96	378.91	1598.38	541.45	59.71	31.94	98
71	1.65	0.62	219.16	124.13	85.56	26.89	29.67	28.46	99
116	35.00	0.55	218.25	168.53	349.32	116.60	43.45	26.71	100

آماره‌های پایداری ناپارامتری

مقادیر $Z_i(1)$ برای ژنوتیپ‌های AS613 (۵/۹۸)، PAC2 (۴/۶۳)، 15031 (۵/۲۸)، 1009337 (100K) (۵/۶۹)، HA335B (۵/۲۸)، LC1064C (۴/۵۷)، SDB3 (۳/۹۱)، NS-F1-A5*R5 (۴/۲۰) و B-FIPOPB (۴/۱۴) بیشتر از مقدار بحرانی χ^2 و معنی‌دار بود. $Z_i(2)$ برای ژنوتیپ‌های 254-ENSAT (۶/۵۹) و LC1064C (۶/۰۴) بیشتر از مقدار بحرانی χ^2 (۳/۸۴) $(\chi^2_{(0.05, df=1)})$ و معنی‌دار بود. مجموع مقادیر Z_1 ($\sum Z_i(1) = 146/1$) بیشتر از مقدار بحرانی کای‌اسکور ($\chi^2_{(0.05, df=9)} = 123/225$) بود. این نشان دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین سطوح پایداری ژنوتیپ‌های آفتابگردان با این آماره است. اما مجموع مقادیر Z_2 ($\sum Z_i(2) = 117$) کمتر از مقدار بحرانی χ^2 بود. براساس آماره‌های پایداری ناپارامتری (Huehn, 1979) و (Nassar & Huehn, 1987)، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند، که کمترین مقادیر را به‌خود اختصاص داده باشند. بنابراین براساس آماره $S_i(1)$ ، ژنوتیپ‌های AS613 (۵/۵)، 1009337(100K) (۶/۱۷) و HA335B (۷/۱۷) به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های LC1064C (۷/۱۷) و SF109 (۵۵/۸۳) با کسب بیشترین مقادیر آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). براساس آماره $S_i(2)$ ، ژنوتیپ‌های AS613 (۲۰/۲۵) و 1009337(100K) (۲۶/۹۲) با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های ENSAT-254 (۲۱۲۸/۳۳) و LC1064C (۲۰۷۲/۹۲) با بیشترین مقادیر آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). همچون تحقیق حاضر، آماره‌های $S_i(1)$ و $S_i(2)$ در ارزیابی ۲۰ هیبرید آفتابگردان جهت گزینش ژنوتیپ پایدار با بالاترین عملکرد روغن استفاده شدند (Balalic *et al.*, 2011).

براساس آماره $S_i(3)$ ژنوتیپ‌های AS613 (۰/۸۸) و HA335B (۱/۵۴) پایدارترین و ژنوتیپ‌های LP-SCYB (۱۶۰/۴۸) و 9CSA3 (۱۲۴/۷۰) و LC1064C (۱۶۰/۴۸)

ناپایدارترین بودند. همچنین بر اساس آماره $S_i(6)$ ژنوتیپ‌های AS613 (۰/۲۲) و HA335B (۰/۲۴) به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های LC1064C (۳/۶۹) و AASB3 12 (۳/۵۲) به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. براساس آماره‌های ناپارامتری $NP_i(1)$ ، $NP_i(2)$ ، $NP_i(3)$ و $NP_i(4)$ پیشنهاد شده توسط (Tiiennarasu, 1995)، ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین براساس آماره $NP_i(1)$ ژنوتیپ‌های AS613 (۹/۵۹)، CAY (۱۰/۳۴) و 1009329.2(100K) (۱۰/۵۹) به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های B454/03 (۵۲/۵۹) و LP-SCYB (۵۱/۰۹) به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. براساس پارامترهای $NP_i(2)$ ، ژنوتیپ‌های AS613 (۰/۱۳) و SF076 (۰/۱۶) پایدارترین و ژنوتیپ‌های 1009337(100K) (۰/۹۵) و PAC2 (۰/۸۸) ناپایدارترین بودند. براساس پارامترهای $NP_i(3)$ ، ژنوتیپ‌های AS613 (۰/۱۴) و H209A/H566R (۰/۱۶) پایدارترین و ژنوتیپ‌های 1009337(100K) (۳/۲۴) و H543R/H543R (۲/۳۰) ناپایدارترین بودند. ژنوتیپ‌های AS613 (۰/۰۸) و HA335B (۰/۱۰) براساس آماره $NP_i(4)$ به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های LC1064C (۱/۴۴) و 15038 (۱/۳۷) به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). در ادامه، شاخص میانگین رتبه و میانگین رتبه هر ژنوتیپ در چهار محیط برآورد شد. این شاخص رابطه نزدیکی با میزان عملکرد دارد و ژنوتیپ‌های پایدار در این روش از عملکرد خوبی برخوردارند (جدول ۴). براساس این روش ژنوتیپ‌های 9CSA3 (۱۶۸) و LC1064C (۱۶۴) که دارای میانگین رتبه بالایی هستند؛ پایدار و ژنوتیپ‌هایی HA335B (۲۹) و H209A/H566R (۲۹) که از میانگین رتبه پایینی برخوردارند، ناپایدار می‌باشند. کتاتا (Ketata, 1988) استفاده از میانگین رتبه (R) را به‌عنوان معیاری به‌منظور تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها ارائه نمود. براساس جمیع روش‌های ناپارامتری نیز ژنوتیپ AS613 پایدارترین ژنوتیپ بود.

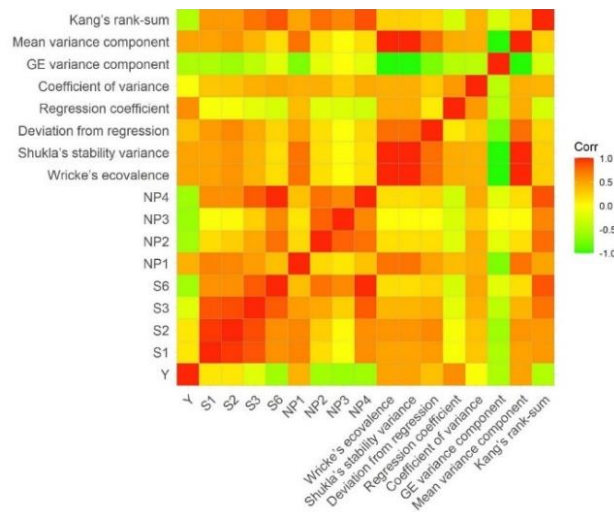
جدول ۵- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان از نظر شاخص‌های پایداری

Table 5. Ranking of sunflower genotypes in terms of stability statistics

Std	AR	SR	Kang's R	θ(i)	θ _i	CV _i	Sd _i ²	σ ²	W _i ²	NP ₄	NP ₃	NP ₂	NP ₁	S ₆	S ₃	S ₂	S ₁	میانگین عملکرد		
																		Yield average (gr)	شماره ژنوتیپ Genotype number	
10.44	57.19	915	54	42	59	84	60	59	59	53	47	42	57	55	62	68	66	48	48	1
28.63	68.44	1095	52	8	93	54	99	93	93	67	51	64	74	61	84	95	96	11	11	2
13.11	73.38	1174	84	39	62	70	78	62	62	83	74	75	64	88	87	86	76	3	3	3
19.39	34.50	552	22	47	54	28	75	54	54	13	19	18	57	14	17	30	32	18	4	4
23.19	57.38	918	45	20	81	69	90	81	81	42	42	39	78	42	52	70	71	15	5	5
14.07	53.44	855	58	65	36	43	52	36	36	71	61	60	27	66	63	51	56	74	6	6
15.96	57.25	916	58	30	71	42	86	71	71	45	45	44	73	48	54	69	70	39	7	7
33.86	75.19	1203	48	1	100	89	100	100	100	64	52	86	98	72	94	100	98	1	8	8
13.17	53.69	859	35	66	35	65	57	35	35	70	50	47	50	58	67	67	68	54	9	9
32.89	34.94	559	32	98	3	56	2	3	3	46	21	87	3	52	38	17	13	85	10	10
19.84	65.75	1052	62	25	76	34	87	76	76	57	60	63	87	65	73	86	89	36	11	11
25.41	10.63	170	3	100	1	21	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32	12	12
21.22	65.06	1041	81	19	82	44	89	82	82	69	62	36	43	57	78	82	85	50	13	13
13.47	37.63	602	23	56	45	29	67	45	29	23	16	43	28	34	41	48	30	14	14	14
17.74	20.75	332	8	78	23	6	36	23	23	9	5	13	18	8	11	20	20	31	15	15
23.98	79.31	1269	85	6	95	73	97	95	95	85	71	74	96	78	89	92	94	44	16	16
35.39	51.81	829	69	80	21	81	29	21	21	74	97	99	22	79	28	5	5	98	17	17
18.08	55.81	893	40	45	56	79	34	56	56	63	46	32	38	63	80	85	82	38	18	18
12.40	39.44	631	28	69	32	27	44	32	32	40	30	21	33	46	44	54	52	52	19	19
23.17	71.06	1137	92	55	46	85	56	46	46	99	96	94	55	98	83	48	42	96	20	20
35.72	50.88	814	79	70	31	46	7	31	31	79	100	100	32	81	23	2	2	100	21	21
26.58	55.38	886	38	17	84	61	91	84	84	33	48	37	93	39	47	62	61	7	22	22
17.05	80.19	1283	95	36	65	98	82	65	95	88	67	76	99	96	88	86	82	23	23	23
32.58	52.44	839	47	4	97	78	61	97	97	17	33	59	90	23	36	55	43	2	24	24
22.93	82.19	1315	100	11	90	48	74	90	90	97	83	88	81	93	99	96	97	78	25	25
18.79	39.19	627	16	43	58	37	76	58	58	21	22	48	35	20	30	47	50	8	26	26
22.16	29.25	468	16	91	10	59	26	10	10	27	31	11	12	27	27	27	28	56	27	27
18.03	81.19	1299	96	21	80	99	85	80	80	94	84	83	71	91	95	83	86	71	28	28
25.82	38.25	612	14	92	9	63	9	9	9	56	27	35	14	50	58	57	57	53	29	29
20.62	15.94	255	5	88	13	7	27	13	13	4	4	7	19	3	4	10	12	26	30	30
10.48	47.75	764	38	53	48	38	69	48	48	44	34	30	54	44	50	61	62	43	31	31
10.98	46.00	736	46	60	41	17	42	41	41	50	55	29	47	53	51	52	54	57	32	32
19.17	20.56	329	4	77	24	36	19	24	24	3	10	26	42	4	3	11	9	13	33	33
18.57	54.19	867	27	35	66	72	41	66	66	49	39	53	60	51	71	81	74	16	34	34
25.32	77.44	1239	82	5	96	58	94	96	96	87	70	68	94	74	90	94	95	40	35	35
24.00	59.00	944	65	74	27	90	46	27	27	80	81	80	29	80	66	43	41	88	36	36
22.65	71.19	1139	94	32	69	14	49	69	69	90	79	81	63	90	92	89	84	75	37	37
16.15	36.31	581	28	46	55	12	64	55	55	19	25	24	52	18	25	38	36	29	38	38
15.14	33.88	542	12	61	40	18	59	40	25	24	15	40	22	35	45	47	19	39	39	39
15.49	60.69	971	64	28	73	86	63	73	73	52	58	46	83	46	60	65	60	41	40	40
31.78	43.75	700	42	12	89	76	6	89	89	16	41	31	88	19	21	37	38	6	41	41
27.07	56.38	902	88	54	47	13	17	47	47	77	94	92	49	73	53	28	30	93	42	42
27.07	84.50	1352	79	3	98	100	93	98	93	87	90	99	94	98	97	92	93	43	43	43
14.15	39.31	629	55	62	39	16	35	39	39	38	49	33	16	36	39	33	31	69	44	44
16.96	26.56	425	11	68	33	39	47	33	33	11	14	5	40	7	12	24	24	24	45	45
20.68	80.88	1294	97	15	86	57	88	86	86	92	82	72	84	96	97	93	93	70	46	46
13.26	70.19	1123	82	44	57	52	68	57	57	78	76	78	66	89	86	79	75	79	47	47
25.89	65.38	1046	55	14	87	87	22	87	87	60	67	57	95	70	75	80	82	21	48	48
25.16	48.88	782	37	16	85	68	53	85	85	23	28	55	64	26	42	59	51	5	49	49
31.27	45.00	720	75	71	30	49	28	30	30	36	93	95	31	37	13	4	3	95	50	50
23.54	69.63	1114	75	13	88	96	30	88	88	73	72	62	91	68	79	77	77	37	51	51
23.54	28.06	449	23	94	7	41	24	7	7	32	9	25	8	30	24	25	25	68	52	52
17.14	70.63	1130	85	24	77	53	84	77	77	72	66	52	68	69	82	91	91	62	53	53
22.41	59.81	957	57	75	26	77	45	26	26	89	78	66	30	82	74	60	63	83	54	54
12.37	61.56	985	49	41	60	71	79	60	60	58	56	51	76	59	68	75	80	42	55	55
15.31	64.69	1035	72	26	75	88	73	75	75	59	59	45	75	59	65	71	72	46	56	56
35.77	44.06	705	40	10	91	60	71	91	91	5	38	58	97	5	6	21	18	3	57	57
15.08	66.25	1060	69	31	70	40	81	70	66	68	54	82	76	77	78	79	79	49	58	58
31.72	63.06	1009	98	40	61	10	16	61	61	91	98	96	78	92	57	26	25	99	59	59
33.77	62.06	993	51	2	99	97	95	99	99	37	54	39	100	35	49	66	67	4	60	60
17.88	28.25	452	7	83	18	20	37	18	18	28	16	8	28	25	32	39	40	35	61	61
17.93	47.25	756	31	37	64	32	80	64	64	34	36	27	70	34	44	58	59	22	62	62
23.12	12.63	202	1	95	6	25	13	6	6	2	3	6	6	2	2	3	3	23	63	63
31.39	38.13	610	35	96	5	75	14	5	5	51	35	82	4	45	37	19	18	84	64	64
33.20	48.94	783	69	76	25	83	39	25	25	55	95	97	13	56	19	6	6	94	65	65
22.40	88.13	1410	99	9	92	95	98	92	100	86	90	86	100	100	99	100	100	72	66	66
21.96	45.69	731	32	27	74	64	72	74	74	22	29	39	69	21	31	46	43	14	67	67
23.96	34.00	544	26	33	68	62	33	68	68	7	18	28	66	9	10	18	21	68	68	68
18.57	74.81	1197	93	49	52	93	70	52	82	98	92	85	59	97	85	64	65	91	69	69
21.22	49.69	795	28	34	67	23	83	67	67	35	43	34	85	38	48	63	63	17	70	70
27.55	41.50	664	61	79	22	35	23	22	22	38	80	84	25	40	22	12	10	89	71	71
23.55	62.81	1005	78	63	38	82	50	38	38	88	91	89	37	88	61	36	36	92	72	72
17.55	33.38	534	8	81	20	33	40	20	20	31	17	20	36	32	40	50	52	34	73	73
27.27	43.13	690	49	85	16	74	31	16	16	47	65	79	15	49	29	16	17	86	74	74
19.97	21.00	336	18	84	17	4	12	17												

همبستگی مثبت در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. آماره W_i^2 با آماره $Z_i(2)$ در سطح احتمال پنج درصد و با آماره‌های CV ، Reg ، Sd_i^2 ، σ_i^2 ، $NP_i(1)$ ، $S_i(3)$ ، $S_i(2)$ ، $S_i(1)$ ، MY و MV (θ_i) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد. این آماره با آماره GE ($\theta(i)$) در سطح احتمال یک درصد همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. همبستگی قوی مثبت و معنی‌دار ($r = 1.00$) بین آماره‌های شوکلا (σ_i^2)، اکووالانس ریک (W_i^2) و MV (θ_i) مشاهده شد. این آماره‌ها ارتباط مشابه با دیگر آماره‌ها داشته و در نتیجه استفاده از آنها به‌جای هم امکان‌پذیر است و کارایی دارد. آماره Sd_i^2 با آماره‌های $NP_i(4)$ ، $S_i(6)$ و $NP_i(4)$ همبستگی مثبت در سطح احتمال پنج درصد و با آماره‌های MY ، $S_i(2)$ ، $S_i(1)$ ، CV ، σ_i^2 ، $Z_i(2)$ ، $NP_i(1)$ ، W_i^2 ، $NP_i(1)$ و MV (θ_i) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد. این آماره با GE ($\theta(i)$) در سطح احتمال یک درصد رابطه منفی معنی‌دار داشت. آماره Reg با میانگین عملکرد، W_i^2 ، $NP_i(1)$ ، CV ، σ_i^2 و MV (θ_i) همبستگی مثبت در سطح احتمال یک درصد و با آماره‌های $NP_i(4)$ ، $S_i(6)$ ، $NP_i(4)$ و GE ($\theta(i)$) همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با آماره $NP_i(2)$ و $NP_i(3)$ همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان داد.

می‌شود. بر اساس نتایج همبستگی، میانگین عملکرد (MY) با آماره $S(3)$ در سطح احتمال پنج درصد و با آماره‌های $S_i(6)$ ، $NP_i(2)$ ، $NP_i(3)$ ، $NP_i(4)$ ، GE ($\theta(i)$) و $Kang$ در سطح احتمال یک درصد همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. میانگین عملکرد با آماره‌های $NP_i(1)$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، Reg ، MV (θ_i) و Sd_i^2 در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (شکل ۱). گزارشاتی از همبستگی منفی و معنی‌دار بین میانگین عملکرد و آماره‌های $S_i(6)$ ، $NP_i(2)$ ، $NP_i(3)$ و $NP_i(4)$ ارائه شده است (Kaya & Turkoz, 2014; Syukur et al., 2016). همبستگی منفی و معنی‌دار بین میانگین عملکرد (MY) با آماره‌های پایداری $NP_i(4)$ و $NP_i(3)$ ، $NP_i(2)$ ، $S_i(6)$ ، $S_i(3)$ گزارش شده است (Moghaddasadeh et al., 2019). با توجه به اهمیت عملکرد و پایداری عملکرد، ارزیابی روابط بین شاخص‌ها پایداری پارامتری و ناپارامتری با عملکرد و با یکدیگر صورت گرفت تا با انتخاب و شناسایی روش‌های محاسباتی سریع، راحت و دقیق، بتوان اقدام به شناسایی و ارزیابی ژنوتیپ‌ها کرد. در این مطالعه آماره $NP_i(1)$ از آماره‌های همبسته با عملکرد، با دو آماره GE ($\theta(i)$) و $Z_i(1)$ همبستگی منفی و با میانگین عملکرد و آماره‌های $S_i(1)$ ، $S_i(2)$ ، $S_i(3)$ ، $S_i(6)$ ، $NP_i(4)$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، Sd_i^2 ، CV ، Reg ، MV (θ_i) و $Kang$ همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با $NP_i(2)$



شکل ۱- حرارتی همبستگی بین شاخص‌های پایداری در ژنوتیپ‌های آفتابگردان
Figure 1. Heat map of correlation between stability indices in sunflower genotypes

$Kang$ ، آماره (σ_i^2) ، W_i^2 و MV (θ_i) با آماره‌های میانگین عملکرد، $S_i(2)$ ، $S_i(3)$ ، $NP_i(1)$ ، σ_i^2 ، Sd_i^2 ، CV ، Reg ، MV (θ_i) و همچنین بین آماره Reg با میانگین عملکرد، $NP_i(1)$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، CV و MV (θ_i) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید. با توجه به همبستگی مثبت مشاهده شده بین این شاخص‌ها به‌نظر استفاده هرکدام از آنها به‌جای هم نتیجه یکسانی را به‌همراه خواهد داشت. استفاده از شاخص‌های پایداری، به‌واسطه ارزیابی پایداری مواد ژنتیکی می‌تواند در گزینش هدفمند ژنوتیپ‌ها در راستای توسعه ارقام پرمحصول و متحمل به تنش سودمند باشد.

نتیجه‌گیری کلی

براساس مجموع شاخص‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری، ژنوتیپ AS613 به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی می‌شود. میانگین عملکرد دانه با آماره‌های $NP_i(1)$ ، W_i^2 ، σ_i^2 و Reg در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. در میان خود این آماره‌ها نیز همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. به‌طوری‌که آماره $NP(1)$ با آماره‌های میانگین عملکرد، W_i^2 ، $S_i(2)$ ، $S_i(3)$ ، $S_i(6)$ ، $NP_i(4)$ ، σ_i^2 ، Sd_i^2 ، CV ، Reg ، MV (θ_i) و

Reference

- Aarthi, S., Suresh, J., Leela, N., & Prasath, D. (2020). Multi environment testing reveals genotype-environment interaction for curcuminoids in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Industrial Crops and Products*, (145), 112090. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112090>
- Akbari, s., Akbarpour, O., & Pezeshkpour, P. (2022). Evaluation of Grain Yield Stability of Lentil Genotypes using Parametric Methods in Rainfed Conditions of Khorramabad. *Journal of Crop Breeding*, (14)44, 227-238. doi:10.52547/jcb.14.44.227 [In Persian]
- Alemu, A., Astrand, J., Montesinos-Lopez, O.A., y Sanchez, J.I., Fernandez-Gonzalez, J., Tadesse, W., Vetukuri, R.R., Carlsson, A.S., Cepitis, A., Crossa, J. & Ortiz, R. (2024). Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping two decades of progress. *Molecular Plant*, 17(4), 552-578.
- 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. doi:10.52547/jcb.14.44.227 [In Persian]
- Balalic, I., Zoric, M., Miklic, V., Dusanic, N., Terzic, S., & Radic, V. (2011). Non-parametric stability analysis of sunflower oil yield trials. *Helia*, (34)54, 67-77. doi. 10.2298/hel1154067b
- Ballén-Taborda, C., Lysterly, J., Smith, J., Howell, K., Brown-Guedira, G., Babar, M. A., ... & Boyles, R. E. (2022). Utilizing genomics and historical data to optimize gene pools for new breeding programs: A case study in winter wheat. *Frontiers in Genetics*, 13, 964684.
- Becker, H. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, (30)3, 835-840.
- Becker, H., & Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, (101)1.
- Chakraborty, N. R., Lakshman, S. S., Debnath, S., & Rahimi, M. (2022). Yield stability and economic heterosis analysis in newly bred sunflower hybrids throughout diverse agro-ecological zones. *BMC Plant Biology*, (22)1, 579. doi.10.1186/s12870-022-03983-1
- Darvishzadeh, R., Maleki, H. H., & Sarrafi, A. (2011). Path Analysis of the Relationships between Yield and Some Related Traits in Diallel Population of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Well-Watered and Water-Stressed Conditions. *Australian Journal of Crop Science*, (5)6, 674-680.
- Dawson, J., Endelman, J., Heslot, N., Crossa, J., Poland, J., Dreisigacker, S., et al. (2013). The use of unbalanced historical data for genomic selection in an international wheat breeding program. *Field Crops Res*, 154, 12–22. doi: 10.1016/j.fcr.2013.07.020
- Dufresne, J.-L., y Méliá, D. S., Denvil, S., Tyteca, S., Arzel, O., Bony, S., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., & Caubel, A. (2006). Simulation de l'évolution récente et future du climat par les modèles du CNRM et de l'IPSL. *La Météorologie*, (55), 45-59.
- Ebdon, J., & Gauch Jr, H. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. *Crop Science*, (42)2, 489-496.
- Eberhart, S. t., & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, (6)1, 36-40.
- Fernandez, O., Urrutia, M., Berton, T., Bernillon, S., Deborde, C., Jacob, D., Maucourt, M., Maury, P., Duruflé, H., & Gibon, Y. (2019). Metabolomic characterization of sunflower leaf allows discriminating genotype groups or stress levels with a minimal set of metabolic markers. *Metabolomics*, (15), 1-14.
- Fernández-González, J., Haquin, B., Combes, E., Bernard, K., Allard, A., & Isidro y Sánchez, J. (2024). Maximizing efficiency in sunflower breeding through historical data optimization. *Plant methods*, 20(1), 42.
- Fick, G. N., & Miller, J. F. (1997). Sunflower breeding. *Sunflower Technology and Production*, (35), 395-439.
- Finlay, K., & Wilkinson, G. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, (14)6, 742-754.
- Flores, F., Moreno, M., & Cubero, J. (1998). A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G× E interaction. *Field Crops Research*, (56)3, 271-286.
- Fox, P., Skovmand, B., Thompson, B., Braun, H.-J., & Cormier, R. (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica*, (47), 57-64.
- Francis, T., & Kannenberg, L. (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, (58)4, 1029-1034.
- Ghaffari, M., & Shariati, F. (2018). Combining ability of sunflower inbred lines under drought stress. *Helia*, (41)69, 201-212. doi. 10.1515/helia-2017-0009
- Goksoy, A. T., Sincik, M., Erdogmus, M., Ergin, M., Aytac, S., Gumuscu, G., Gunduz, O., Keles, R., Bayram, G., & Senyigit, E. (2019). The Parametric and Non-Parametric Stability Analyses for Interpreting Genotype by Environment Interaction of Some Soybean Genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 28-38. doi.10.17557/tjfc.562637
- Golkar, P., Rahmatabadi, N., & Mirmohammady Maibody, S. A. M. (2020). Improvement of yield and yield stability in safflower using multivariate, parametric and non-parametric methods under different irrigation treatments and planting date. *Acta agriculturae Slovenica*, 115. doi. 10.14720/aas.2020.115.2.1257
- Huehn, M. (1979). Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. *EDV Medicine and Biology*, 10, 112-117.
- Hühn, M. (1996). Non-parametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. *Genotype by environment interaction*. CRC Press, Boca Raton, FL, 213-228.
- Kang, M. (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, (16), 113-115.

- Kang, M. S. (1993). Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*, (85)3, 754-757.
- Kaya, Y., & Taner, S. (2003). Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 4(1), 47-54.
- Kaya, Y., & Turkoz, M. (2016). Evaluation of Genotype by Environment Interaction for Grain Yield in Durum Wheat Using Non-Parametric Stability Statistics. *Turkish Journal of Field Crops*, (21)1, 50. doi. 10.17557/tjfc.48198.
- Ketata, H. (1988). Genotype× environment interaction. *Proceedings of Biometrical Techniques for Cereal Breeders. ICARDA, Aleppo, Syria*, 16-32.
- Khaki, S., Khalilzadeh, Z. & Wang, L. (2020). Predicting yield performance of parents in plant breeding: A neural collaborative filtering approach. *Plos One*, 15(5), p. e0233382.
- Messina, C. D., Podlich, D., Dong, Z., Samples, M., & Cooper, M. (2011). Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, (62)3, 855-68. doi. 10.1093/jxb/erq329
- Moghaddaszadeh, M., Zakaria, R. A., & D. H., and Zare, N. (2019). Non-Parametric Stability Analysis of Tuber Yield in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Genotypes. *Journal of Crop Breeding*, (10)28, 50-63. [In Persian]
- Mohtashami, R. (2023). Genotype × environment interaction and grain yield stability analysis of rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 113-122. [In Persian]
- Nassar, R., & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 45-53.
- Perkins, J. M., & Jinks, J. (1968). Environmental and genotype-environmental components of variability. *Heredity*, (23)3, 339-356.
- Plaisted, R. (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal*, 37, 166-172
- Pour-Aboughadareh, A., Khalili, M., Poczai, P., & Olivoto, T. (2022). Stability Indices to Deciphering the Genotype-by-Environment Interaction (GEI) Effect: An Applicable Review for Use in Plant Breeding Programs. *Plants (Basel)*, (11)3, 414. doi. 10.3390/plants11030414
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., & Siddique, K. H. M. (2019). Stability Soft: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*, (7)1, e01211. doi. 10.1002/aps3.1211
- Pourdard, S. S., & Mohammadi, R. (2007). Use of Stability Parameters for Comparing Safflower Genotypes in Multi-Environment Trials. *Asian Journal of Plant Sciences*, (7)1, 100-104. doi.10.3923/ajps.2008.100.104 [In Persian]
- Radanovic, A., Miladinovic, D., Cvejic, S., Jockovic, M., & Jovic, S. (2018). Sunflower Genetics from Ancestors to Modern Hybrids-A Review. *Genes (Basel)*, (9)11. doi. 10.3390/genes9110528
- Raiger, H. L., & Prabhakaran, V. (2001). A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. *Indian Journal Of Genetics and Plant Breeding*, (61)1, 7-11.
- Rauf, S. (2019). Breeding strategies for sunflower (*Helianthus annuus* L.) genetic improvement. *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*, (6), 637-673.
- Rea, R., Sousa-Vieira, O. D., Diaz, A., Ramon, M., & Briceño, R. (2017). Genotype by environment interaction and yield stability in sugarcane. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, (70)2, 8129-8138.
- Rinaldi, M., Losavio, N., & Flagella, Z. (2003). Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural Systems*, (78)1, 17-30.
- Roemer, J. (1917). Sünde die ertagdreichen Sorten ertagissicherer. *Mitt DLG*, (32)1, 87-89.
- Saremrad, A. & Taleghani, D. (2022). Utilization of Univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 14(43). 49-63. [In Persian]
- Seiler, G. J., & Gulya, T. J. (2016). Sunflower: Overview. In "*Encyclopedia of Food Grains*". 247-253. doi 10.1016/b978-0-12-394437-5.00027-9
- Seiler, G. J., Qi, L. L., & Marek, L. F. (2017). Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science*, 57(3), 1083-1101.
- Shooshtari, M., Safari, H., Fayaz, M., Akbarzadeh, M. a., & Nateghi, S. (2013). Evaluation of forage production stability of a few rangeland species using univariate parametric and nonparametric methods on Gavanbane Harsin rangelands in Kermanshah province. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, (20), 570-583. doi.org/10.22092/ijrdr.2013.5798 [In Persian]
- Shukla, G. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., Yuniarti, R., & Kusumah, D. A. (2014). Non parametric stability analysis for yield of hybrid chili pepper (*Capsicum annum* L.) across six different environments. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, (42)1.
- Tiennarasu, K. (1995). On Certain Non-Parametric Procedures For Studying Genotype-Environmentinteractions. And Yield Stability, IARI, Division of Agricultural Statistics: New Delhi.
- Velu, G., & Palanisami, K. (2001). Impact of moisture stress and ameliorants on growth and yield of sunflower. *Madras Agricultural Journal*, 88(10/12), 660-665.
- Wricke, G. (1962). Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzüchtung*, 47, 92-96.
- Yaşar, M., Çil, A. N., & Abdullah, Ç. (2023). Investigation of Genotype× Environment Interaction in Some Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genotypes in Different Environmental Conditions. *MAS Journal of Applied Sciences*, (8)1, 42-55.