Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 1, 2025 p: 129-141 OPEN ACCESS

Research Paper

Screening Elite Genotypes of Durum Wheat Based on Univariate and Multivariate Stability Models under Unpredictable Environments

Shahryar Sasani[1] and Armin Saed-Moucheshi[2]

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran, (Corresponding author: a.saed@areeo.ac.ir)

Received: 28 July, 2024 Revised: 14 November, 2024 Accepted: 18 Dcember, 2024

Extended Abstract

Background: As one of the most influential cereals, wheat is among the most important food sources in Asian countries, including Iran, which has more cultivated area than other plant crops in Iran. Durum wheat is a type of tetraploid wheat that is particularly important for use in the food industry, especially pasta production. Durum wheat is a good source of dietary fiber, protein, and a wide range of vitamins and minerals such as iron, magnesium, and B vitamins, making it a healthy and nutritious food. This product also has a special economic importance for Iran and is a strategic product that has a significant impact on the country's agricultural economy. Based on the stability and productivity of plants in changing environmental conditions, plant breeders can develop products that are more flexible and have good stability even in the face of climate change and other environmental challenges. The upcoming study aims to investigate the durum wheat genotypes produced by Iranian breeders and their response to environmental changes to make it possible to introduce these genotypes as cultivars that can be planted by farmers.

Methods: To verify the feasibility of introducing new durum wheat varieties with high yields and stable performance in different environmental conditions, 18 genotypes of durum wheat along with two control varieties (Hana and Parsi) were studied in four crop years at the research station of the Agricultural Research and Training Center and The natural resources of Kermanshah Province (Islamabad West Agricultural Research Station) based on a completely randomized block design in three replications and four consecutive years from 2013 to 2016. After adjusting the data, composite variance analysis was performed considering year × genotype in relation to grain yield. Due to the significance of the genotype × environment interaction effect, the averages were compared for genotypes and the environment, as well as for their interaction, and stability analysis was calculated by univariate and multivariate methods. The univariate methods included environmental variance parameters (S2), coefficient of environmental changes related to all investigated environments (CV), Rick's equivalence (W2), Shukla's stability variance (Shukla-Var), regression coefficients based on the Eberhart-Russell model to analyze the genotype × environment interaction effect on the regression components (b), the standard error value or deviation from the regression line in the Eberhart-Russell model (Sd), and the explanatory coefficient value of the regression model in the Eberhart-Russell model (R2). Moreover, multivariate methods, including the AMMI method, the GGE method, and the heat mapping method, were used to analyze the stability of genotypes. SAS software was used for calculations related to composite analysis of variance (ANOVA) and mean comparison. Univariate stability calculations were done using the codes written by the authors in the matrix language of SAS software, which is known as Interactive Matrix Language. R software and the agricolae library were used for calculations related to multivariate methods in AMMI and GGE models. Heat mapping was also done in R software with the ggcorrplot library.

Results: The composite ANOVA in this research showed the significance of the main effects of genotype and environment alone and the genotype × environment interaction effect in grain yield. Due to the significant genotype × environment interaction effect, the response of genotypes to different environments is different. Thus, analysis of stability was carried out by univariate and multivariate methods to allow for the introduction of new durum cultivars with high potential in terms of grain yield and production stability in different environments. The heat mapping results showed that this method could separate the three environmental groups

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

and confirmed the average comparison results. The number of separated groups of genotypes based on experimental environments also included four different groups. The different stability methods used in this research also showed differences in relation to the stability and sensitivity of genotypes. Therefore, the ranking method was used based on different sustainability models. Accordingly, genotypes 3, 13, 14, and 16 produced high final yields and good stability (above average), and genotypes 18 and 19 showed high stability and good total yields based on all stability methods. The first four genotypes, with good stability, produced a higher average yield than both controls, but the next two genotypes, with high stability, showed a higher yield than the Hana variety and less than the Parsi variety.

Conclusion: Different methods of univariate stability, including environmental variance, coefficient of environmental change, Shokla variance, the regression sum of squares method, regression coefficient, the residual of the regression model, and explanatory coefficient, along with multivariate methods, including AMMI and GGE models as well as the heat mapping method were examined to estimate the stability and the response of 18 durum wheat genotypes along with two control varieties (Hana and Parsi). It was found that heat mapping had a good performance in assessing the response of the genotypes to environmental conditions and could separate three environmental groups, which confirmed the results of the average comparison. The number of separated groups of genotypes based on experimental environments included four different groups. Based on the stability analysis results, genotypes 14, 16, 13, and 3 produced high final yields and good stability (above average) based on all stability methods, and genotypes 19 and 18 showed high stability and good total yields (above average). The first four genotypes, with good stability, produced higher average yields than both controls, but the next two genotypes, with high stability, showed higher yields than the Hana variety and less than the Parsi variety. Finally, it is suggested that these six genotypes enter the regional research-promotion tests for further investigation so that the most suitable ones are finally introduced as a new variety of durum wheat.

Keywords: AMMI, Clustering, Environmental Coefficient of Variation, GGE Biplot, Heatmap, Univariate Stability Analysis

How to Cite This Article: Sasani, S., &, Saed-Moucheshi, A. (2025). Screening Elite Genotypes of Durum Wheat Based on Univariate and Multivariate Stability Models under Unpredictable Environments. *J Crop Breed,* 17(1), 129-141. DOI: 10.61186/jcb.17.1.129

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی پایداری تک‌متغیره و چندمتغیره جهت انتخاب لاین‌های امیدبخش گندم دوروم در شرایط محیطی مختلف

شهریار ساسانی[۱] و آرمین ساعدموچشی[۲]

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، (نویسنده مسوول: a.saed@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸
صفحه ۱۲۹ تا ۱۴۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گندم که از جمله غلات تاثیرگذار میباشد، جزو مهم‌ترین منابع غذایی در کشورهای آسیایی و از جمله ایران است که سطح زیر کشت بیشتری را در مقایسه با سایر محصولات گیاهی در کشور به‌خود اختصاص داده است. گندم دوروم نوعی گندم تتراپلوئید است که اهمیت ویژه‌ای برای استفاده در صنایع غذایی و به‌ویژه تولید ماکارونی دارد. گندم دوروم منبع خوبی از فیبر غذایی، پروتئین و طیف وسیعی از ویتامین و مواد معدنی مانند آهن، منیزیم و ویتامین‌های گروه B است که آن را به غذایی سالم و مغذی تبدیل می‌کند. این محصول همچنین دارای اهمیت اقتصادی خاصی برای کشور بوده و یک محصول استراتژیک است که تاثیر به‌سزایی در اقتصاد کشاورزی کشور دارد. بر اساس ثبات و پایداری بهره‌وری گیاهان در شرایط محیطی در حال تغییر، به‌نژادگران گیاهی می‌توانند محصولاتی را توسعه دهند که انعطاف پذیرتر بوده و پایداری مناسبی حتی در مواجهه با تغییرات آب و هوایی و سایر چالش‌های زیست محیطی دارند. هدف از مطالعه پیش‌رو بررسی نحوه پاسخ آنها به تغییرات محیطی جهت امکان‌سنجی معرفی این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام قابل کاشت توسط زارعین است.

مواد و روش‌ها: جهت امکان‌سنجی معرفی ارقام جدید گندم دوروم با عملکرد بالا و پایداری عملکرد مناسب در شرایط متفاوت محیطی، ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم در کنار دو رقم شاهد (هانا و پارسی) در چهار سال زراعی (۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶) در ایستگاه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب) بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب با توجه به معنی‌دار شدن اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه، مقایسه میانگین برای ژنوتیپ‌ها و محیط و همچنین برای اثرمتقابل آنها انجام گرفت و همچنین تجزیه پایداری به روش‌های تک و چندمتغیره محاسبه شد. روش‌های مورد استفاده تک‌متغیره شامل پارامترهای واریانس محیطی (S2)، ضریب تغییرات محیطی مربوط به کلیه محیط‌های مورد بررسی (CV)، اکووالانس ریک (W2)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla-Var)، ضرایب رگرسیون بر اساس مدل ابرهارت-راسل برای تجزیه اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط به اجزای رگرسیون (b)، مقدار خطای استاندارد یا انحراف از خط‌رگرسیون در مدل ابرهارت-راسل (Sd) و مقدار ضریب تبیین مدل رگرسیون در مدل ابرهارت-راسل (R2) بود. همچنین، روش‌های چندمتغیره شامل روش AMMI، روش GGE و روش نقشه گرمایی جهت تحلیل پایداری ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. جهت محاسبات مربوط به تحلیل واریانس مرکب و مقایسه میانگین از نرم‌افزار SAS استفاده شد. همچنین محاسبات تک‌متغیره پایداری نیز با استفاده از کدهای نوشته شده توسط نویسندگان در زبان ماتریس نرم‌افزار SAS که به زبان انفعالی ماتریسی یا Interactive matrix Language معروف است انجام گرفت. نرم‌افزار R و کتابخانه agricolae برای محاسبات مربوط به روش‌های چندمتغیره در مدل AMMI و GGE استفاده شد. رسم نقشه گرمایی نیز در نرم‌افزار R و با کتابخانه ggcorrplot انجام شد.

یافته‌ها: تحلیل واریانس مرکب در این پژوهش نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط به‌تنهایی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در عملکرد دانه بود. به دلیل معنی‌دار بودن اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط، پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف متفاوت است، بنابراین جهت امکان‌سنجی معرفی ارقام جدید دوروم با پتانسیل بالا از جنبه عملکرد دانه و پایداری تولید در محیط‌های متفاوت تجزیه پایداری به روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره انجام گرفت. نتایج نقشه‌گرمایی نشان داد که این روش قادر به تفکیک سه گروه محیطی بود و تاییدکننده‌ی نتایج مقایسه میانگین بود. تعداد گروه‌های تفکیک شده ژنوتیپ‌ها بر اساس محیط‌های آزمایشی نیز شامل چهار گروه متفاوت بود. روش‌های متفاوت پایداری مورد استفاده در این پژوهش نیز تفاوت‌هایی را در ارتباط با پایداری و حساسیت ژنوتیپ‌ها نشان داد. بنابراین، در نهایت از روش رتبه‌بندی بر اساس مدل‌های مختلف پایداری استفاده شد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴، ۱۳ و ۳ بر اساس همه روش‌های پایداری دارای عملکرد دانه بالا و پایداری مناسب (بالاتر از متوسط) و ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ نیز دارای پایداری بالا و عملکرد دانه مناسب بودند. چهار ژنوتیپ اول که پایداری مناسبی داشتند، دارای عملکرد متوسط بالاتر از هر دو شاهد بودند ولی دو ژنوتیپ بعدی که دارای پایداری بالایی بودند، عملکرد بیشتر از رقم هانا و کمتر از رقم پارسی نشان دادند.

نتیجه‌گیری: با بررسی روش‌های مختلف پایداری تک‌متغیره شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، واریانس شوکلا، روش مجموع مربعات رگرسیون، ضریب رگرسیون، باقی‌مانده مدل رگرسیون و ضریب تبیین به‌همراه روش‌های چندمتغیره شامل مدل AMMI و مدل GGE و همچنین روش نقشه‌گرمایی جهت تخمین پایداری و نحوه پاسخ ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم به‌همراه دو رقم شاهد (هانا و پارسی)، مشخص گردید که نقشه گرمایی کارایی مناسبی جهت برسی پاسخ ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی داشت و قادر به تفکیک سه گروه محیطی بود که نتایج مقایسه میانگین را تأیید نمود. تعداد گروه‌های تفکیک شده ژنوتیپ‌ها بر اساس محیط‌های آزمایشی نیز شامل ۴ گروه متفاوت بود. بر اساس نتایج تحلیل‌های پایداری، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۶، ۱۳ و ۳ دارای عملکرد نهایی بالا و پایداری مناسب (بالاتر از متوسط) بر اساس همه روش‌های پایداری و ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۸ نیز دارای پایداری بالا و عملکرد کل مناسب (بالاتر از متوسط) بودند. چهار ژنوتیپ اول که پایداری مناسبی داشتند دارای عملکرد متوسط بالاتر از هر دو شاهد بودند ولی دو ژنوتیپ بعدی که دارای پایداری بالایی بودند عملکرد بیشتر از رقم هانا و کمتر از رقم پارسی نشان دادند. در نهایت پیشنهاد می‌گردد که این شش ژنوتیپ جهت بررسی بیشتر وارد آزمایش‌های منطقه‌ای تحقیقی-ترویجی گردند تا در نهایت مناسب‌ترین آنها به‌عنوان رقم جدید گندم دوروم معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: امی، بای‌پلات، پایداری تک‌متغیره، چندمتغیره، خوشه‌بندی، نقشه گرمایی

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

مقدمه

گیاهان در معرض طیف گسترده‌ای از تغییرات و تنش‌های محیطی قرار دارند. این تغییرات می‌توانند تاثیر منفی و یا مثبتی بر رشد و بهره‌وری گیاه داشته باشند. با این‌حال، برخی گیاهان با پایداری مناسب قادر به حفظ عملکرد و بهره‌وری خود حتی در شرایط محیطی در حال تغییر هستند (Aliakbari *et al.*, 2013). این به‌عنوان ثبات عملکرد شناخته می‌شود و یک ویژگی مهم برای گیاهانی است که در محیط‌های متغیر یا غیرقابل پیش‌بینی رشد می‌کنند. مکانیسم‌های متعددی وجود دارد که گیاهان می‌توانند عملکرد و بهره‌وری خود را تحت شرایط محیطی مختلف حفظ کنند. تغییرات محیطی عمده که روی بهره‌وری گیاهان تأثیر به‌سزایی دارد می‌تواند شامل تغییر در مقدار بارش فصلی و رطوبت در دسترس گیاه، تغییر در شرایط دمایی و بالا یا پایین آمدن دما در طول فصل رشد گیاه، توسعه بیماری‌ها و آفات بر حسب شرایط جوی و یا محیطی خاص، تغییرات در مقدار مواد مغذی موجود در خاک و ساختار خاک و همچنین تغییر در نحوه مدیریت مزرعه باشد (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016). گفته می‌شود که گیاهان با تنوع ژنتیکی بیشتر می‌توانند انطباق مناسب‌تری با شرایط محیطی در حال تغییر داشته باشند (Saed-Moucheshi *et al.*, 2017). در حالی‌که در تولید گیاهان زراعی از جمله غلات به‌دلیل صنعتی شدن و نیاز به یکسانی شرایط گیاهان در یک مزرعه معمولاً از کاشت یک رقم خاص بدون حضور تنوع ژنتیکی استفاده می‌شود. در چنین شرایطی، پایداری عملکرد گیاه در شرایط مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود (Riasat *et al.*, 2020). برای این منظور به‌نژادگران و محققین سالانه ژنوتیپ‌های مختلفی را تولید کرده و آن‌ها را در شرایط محیطی متفاوت آزمون می‌کنند تا در نهایت ژنوتیپ‌هایی با بیشترین عملکرد و بالاترین پایداری را انتخاب کرده و به‌عنوان رقم معرفی نمایند (Saed-Mouchesh *et al.*, 2022).

غلات که معمولاً برای دانه‌های خوراکی خود کشت می‌شوند، بخش مهمی از رژیم غذایی انسان بوده و مقادیر متنابهی از کالری و مواد مغذی مصرفی مردم در سراسر جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه را فراهم می‌کنند و به‌عبارتی غذای اصلی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان هستند (Tabarzad *et al.*, 2017). غلات به‌عنوان یک منبع غنی از کربوهیدرات بخش قابل‌توجهی از انرژی روزانه موردنیاز بدن را تأمین نموده و همچنین منبع پروتئین، فیبر، ویتامین و مواد معدنی هستند (Sassani *et al.*, 2018). غلاتی مانند برنج، گندم و ذرت در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در آسیا، افریقا و امریکای لاتین، به‌میزان زیاد مصرف می‌شود. در این میان گندم جزو مهم‌ترین منابع غذایی در کشورهای آسیایی و از جمله ایران است که سطح زیر کشت بیشتری را در مقایسه با سایر محصولات گیاهی در کشور به‌خود اختصاص داده است. گندم دوروم نیز نوعی گندم تتراپلوئید است که اهمیت ویژه‌ای برای استفاده در صنایع غذایی و به‌ویژه تولید ماکارونی دارد. گندم دوروم منبع خوبی از فیبر غذایی، پروتئین و طیف وسیعی از ویتامین و مواد معدنی مانند آهن، منیزیم و ویتامین‌های گروه B است که آن را به غذایی سالم و مغذی تبدیل می‌کند (Najafi Mirak *et al.*, 2019). این گیاه، گندم ترجیحی برای ساخت ماکارونی، انواع اسپاگتی و لازانیا است (Amini *et al.*, 2023)، زیرا دارای محتوای گلوتن بالا و بافت سخت است که ماکارونی را به یک بافت جویدنی با مشخصه‌های متمایز در زمان پخت تبدیل می‌کند (Najafi Mirak *et al.*, 2021). این محصول همچنین دارای اهمیت اقتصادی خاصی برای کشور بوده و یک محصول استراتژیک است که تأثیر به‌سزایی در اقتصاد کشاورزی کشور دارد. تولید، پردازش و توزیع محصولات گندم نان و دوروم در بسیاری از صنایع مرتبط مانند حمل و نقل، ذخیره‌سازی و خرده‌فروشی ایجاد اشتغال می‌کند. همچنین کشت گندم دوروم می‌تواند نقش مهمی در کشاورزی پایدار داشته باشد زیرا در مقایسه با سایر محصولات زراعی نیاز آبی کمتری داشته و می‌تواند در طیف وسیعی از انواع خاک رشد کند (Sasani, 2015). علاوه بر این، گندم دوروم اغلب در تناوب با سایر محصولات می‌تواند باعث حفظ سلامت خاک و کاهش نیاز به آفت‌کش‌ها و کودها شود. بنابراین انجام پژوهش‌های به‌نژادی این محصول در کشور نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بر این اساس تولید ارقام جدید آن توسط پژوهشگران داخلی می‌تواند به اقتصاد کشور کمک کند (Taherian & Sasani, 2020).

به‌طور کلی، ثبات و پایداری بهره‌وری گیاهان در شرایط محیطی در حال تغییر یک ویژگی مهم برای دستیابی به کشاورزی پایدار است (Shiri *et al.*, 2024). با تولید ژنوتیپ‌های جدید و آزمون آنها در شرایط محیطی مختلف، به‌نژادگران می‌توانند ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد و بهره‌وری مناسب در شرایط متغیر یا غیرقابل پیش‌بینی است را شناسایی کرده و برای توسعه و کاشت به زارعین معرفی نمایند (Riasat *et al.*, 2018). بر این اساس به‌نژادگران گیاهی می‌توانند محصولاتی را توسعه دهند که انعطاف پذیرتر بوده و پایداری مناسبی حتی در مواجهه با تغییرات آب و هوایی و سایر چالش‌های زیست محیطی دارند (sabzi *et al.*, 2023). هدف از مطالعه پیش‌رو نیز بررسی ژنوتیپ‌های گندم دوروم تولید شده توسط محققین به‌نژادگر کشور، نحوه پاسخ آنها به تغییرات محیطی جهت امکان‌سنجی معرفی این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام قابل کاشت توسط زارعین است. در این مطالعه از روش‌های پیشرفته آماری تک‌متغیره و چندمتغیره کلاسیک و نوین جهت بررسی و مقایسه پایداری این ژنوتیپ‌ها استفاده شده است. بر این اساس، در نهایت با استفاده از این روش‌های پیشرفته ژنوتیپ‌های مناسب جهت معرفی به‌عنوان ارقام جدید گندم با عملکرد و پایداری مناسب مشخص گردیدند.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش ۱۸ لاین امیدبخش گندم دوروم که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل انتخاب شده بودند به‌همراه دو رقم شاهد (هانا به‌عنوان گندم دوروم و پارسی به‌عنوان رقم گندم نان)، در چهار سال متوالی از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب در استان کرمانشاه و در قالب طرح

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۱ نشان‌دهنده شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این مطالعه به‌همراه اسامی مورد استفاده آنها در طرح‌های پژوهشی و شماره تخصیص داده شده به این ژنوتیپ‌ها است. نوع عملیات فنی و زراعی اجرای طرح در همه سال‌ها یکسان بود. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم بهاره و شخم در پاییز و قبل از کاشت، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم و کودپاشی بود. بذرهای آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های سیاهک گندم با سم تبوکونازول به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزاردانه برای هر لاین که در آزمایشات سال‌های قبل مشخص گردیده بود در نظر گرفته شد. کشت با کارنده تحقیقاتی مدل وینتراشتایگر و آبیاری به‌صورت بارانی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس نتایج آزمون خاک در نظر گرفته شد. کود پتاس از منبع سولفات پتاس (۷۵ کیلوگرم در هکتار)، کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریبل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پایه و کود نیتروژن از منبع اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پایه و سرک مصرف شدند. مساحت هر کرت آزمایشی شامل شش خط ۶ متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و مساحت کلی کرت آزمایشی ۷/۲ مترمربع بود. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ، از علف‌کش‌های مناسب در صورت نیاز استفاده شد. برداشت محصول به‌صورت برداشت کل کرت به‌کمک کمباین آزمایشی مدل وینتراشتایگر انجام شد. پس از تنظیم داده‌ها، ابتدا آزمون همگنی واریانس‌ها برای سال‌های مختلف انجام گرفت و با توجه به اینکه تفاوت واریانس‌ها بر اساس آزمون همگنی واریانس بارتلت معنی‌دار نبود (میزان احتمالاً بیشتر از ۰/۰۵)، تجزیه مرکب با در نظر گرفتن سال × ژنوتیپ در ارتباط با عملکرد دانه انجام گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط، مقایسه میانگین برای ژنوتیپ و محیط و همچنین برای اثر متقابل آنها انجام گرفت و همچنین تجزیه پایداری به روش‌های تک و چندمتغیره محاسبه شد. روش‌های مورد استفاده تک‌متغیره شامل پارامترهای واریانس محیطی (S2)، ضریب تغییرات محیطی مربوط به کلیه محیط‌های مورد بررسی (CV)، اکووالانس ریک (W2)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla-Var)، ضرایب رگرسیون بر اساس مدل ابرهارت راسل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به اجزای رگرسیون (b)، مقدار خطای استاندارد یا انحراف از خطرگرسیون در مدل ابرهارت راسل (Sd) و مقدار ضریب تبین مدل رگرسیون در مدل ابرهارت راسل (R2) بود (Messhenas *et al.*, 2023). بر اساس این روش‌های محاسباتی، رتبه مربوط به هر ژنوتیپ برای هرکدام از این آماره‌های تک‌متغیره و همچنین میانگین رتبه برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. برای رتبه‌بندی بر اساس میانگین کل هر ژنوتیپ بعد از مرتب کردن داده‌های عملکردی، کوچکترین میانگین عدد ۲۰ (تعداد ژنوتیپ‌ها) و بزرگترین میانگین عدد ۱ را دریافت کرد و سایر ژنوتیپ‌ها نیز به‌همین صورت اعداد مابین این دو عدد را به‌عنوان رتبه خود دریافت کردند. روش‌های چندمتغیره نیز شامل روش AMMI، روش GGE و روش نقشه‌گرمایی بود. جهت محاسبات مربوط به تحلیل واریانس مرکب و مقایسه میانگین از نرم‌افزار SAS استفاده شد. همچنین محاسبات تک‌متغیره پایداری نیز با استفاده از کدهای نوشته شده توسط نویسندگان در زبان ماتریس نرم‌افزار SAS که به زبان انفعالی ماتریسی (Interactive matrix Language) معروف است انجام گرفت. نرم‌افزار R و کتابخانه agricolae برای محاسبات مربوط به روش‌های چندمتغییره در مدل AMMI و GGE استفاده شد. رسم نقشه‌گرمایی نیز در نرم‌افزار R و با کتابخانه ggcorrplot انجام شد.

جدول ۱- شجره و شماره مربوط به ژنوتیپ‌های بررسی شده در آزمایش به‌همراه اسامی مورد استفاده در ایستگاه تحقیقاتی

Table 1. Genealogy and number related to genotypes of the genotypes examined in the experiment along with the names used in the research station

شجره (Pedigree)	Name	Genotype Number
Hana (*T. durum*)	هانا (Hana)	1
Parsi (*T. aestivum*)	پارسی (Parsi)	2
SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/4/GRO_2/YUAN_1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001	DM-95-3	3
SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACAN INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA/ALTAR 84/5/CHEN/ALTAR	DM-95-4	4
84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/6/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/7/SOOTY_9/RASCON37 BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/12/ SORA/2*PLATA_12//	DM-95-5	5
P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/RISSA/GAN//POHO_1/3/PLATA_3// CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	DM-95-6	6
SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/R ISSA/GAN//POHO_1/3/PLATA_3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	DM-95-7	7
SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA/3/SOOTY_9/RASCON_37//LLARETA INIA	DM-95-8	8
PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/RCOL/GUANAY*2//SOMAT_3/GR EEN_22	DM-95-9	9
PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/MOEWE	DM-95-10	10
P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/D94528/2*JUPARE C	DM-95-11	11
2001/5/TARRO_1/TISOMA_2//TARRO_1/3/COMB DUCK_2/ALAS//4*COMB DUCK_2/4/SHAG_9/BUTO_17 MÂALI/5/LOTUS_5/SORD_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN	DM-95-12	12
SCRIP_1//DIPPER_2/BUSHEN_3/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	DM-95-13	13
1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4	DM-95-14	14
PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/	DM-95-15	15
TAMAROI/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO_1/LOTUS_4/7/CAMAYO	DM-95-16	16
ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR 84/3/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/	DM-95-17	17
WID22202/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/	DM-95-18	18
SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/6/PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU/5/PLATA_3//…	DM-95-19	19
ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/…	DM-95-20	20

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب که در جدول ۲ گزارش شده است نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن اثر اصلی سال و ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل آنها در عملکرد دانه بود. نتایج مقایسه میانگین محیط‌ها (سال) و ژنوتیپ‌ها به‌صورت مرکب در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین عملکرد دانه در سال‌های مختلف متعلق به سال ۱۳۹۶ و کمترین نیز متعلق به سال ۱۳۹۴ بود که اختلاف معنی‌دار آماری با هم نشان دادند. تفاوت معنی‌داری بین دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ مشاهده نشد. کمترین میزان عملکرد در ژنوتیپ شماره ۶ و بیشترین مقدار آن نیز در ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۱۶ مشاهده شد. تنها تفاوت معنی‌دار مشاهده شده در مقایسه میانگین مرکب در ارتباط با ژنوتیپ‌ها، بین ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۱ در مقایسه با ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۶ بود. تفاوت معنی‌دار کم بین ژنوتیپ‌ها در مقایسه میانگین مرکب می‌تواند نشان‌دهنده معنی‌داری اثر متقابل سال و ژنوتیپ باشد که تجزیه واریانس مرکب نیز این موضوع را تأیید کرده است (جدول ۲). بنابراین بهتر است که مقایسه میانگین برای اثرمتقابل محیط × ژنوتیپ انجام گیرد و مشخص شود که در هر سال چه ژنوتیپ‌هایی اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند. مقایسه میانگین اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط در جدول ۴ آورده شده است و نشان می‌دهد که تعدادی از ژنوتیپ‌ها دارای رتبه‌های متفاوتی در سال‌های مختلف از لحاظ میانگین عملکرد بوده‌اند. بیشتر مقدار عملکرد دانه در سال ۱۳۹۳ در ژنوتیپ ۸، سال ۱۳۹۴ در ژنوتیپ ۱۸، سال ۱۳۹۵ در ژنوتیپ ۱۶ و در سال ۱۳۹۶ در ژنوتیپ ۱۵ مشاهد گردید. ژنوتیپ ۱ در ۱۳۹۳، ۱۵ در ۱۳۹۴، ۴ در ۱۳۹۵ و ژنوتیپ ۱۷ در سال ۱۳۹۶ کمترین مقدار عملکرد را دارا بودند. به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ شماره ۱۵ بر اساس این نتایج یک ژنوتیپ غیرپایدار و حساس به تغییر شرایط آب و هوایی باشد.

جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و امکان‌سنجی معرفی آنها به‌عنوان ارقام الیت و جدید از روش‌های پایداری تک و چندمتغیره استفاده گردید. جدول ۵ نشان‌دهنده‌ی آماره‌های مربوط به روش‌های پایداری تک‌متغیره است. روش‌های پایداری محاسبه شده در جدول ۵ را می‌توان از دو دیدگاه پایداری عمومی و اختصاصی مورد بررسی قرار داد. روش‌های واریانس (S2)، ضریب تغییرات (CV)، اکووالانس ریک (W2) و واریانس شوکلا (Shukla) پایداری عمومی نسبت به همه محیط‌ها را بررسی می‌کنند، در حالی‌که سایر روش‌های محاسبه که در ارتباط با رگرسیون عملکرد ژنوتیپ‌ها روی محیط است را می‌توان به دو منظور پایداری عمومی و اختصاصی مورد بررسی قرار داد (Fadakar Navrood *et al.*, 2024). با این‌حال چون محیط‌های مورد مطالعه صرفاً مربوط به سال‌های مختلف است، پایداری اختصاصی موردنظر نخواهد بود. جهت پیگیری پایداری عمومی ژنوتیپ‌ها، رتبه هر ژنوتیپ بر اساس هر روش پایداری تک‌متغیره محاسبه گردید که در جدول ۶ ارائه گردیده است. ژنوتیپ ۱۸ بر اساس روش واریانس و ضریب تغییرات، ژنوتیپ ۱۲ بر اساس اکووالانس ریک و واریانس شوکلا و ژنوتیپ ۱۷ بر اساس روش ضریب رگرسیون (b)، روش باقی‌مانده رگرسیون اثر متقابل (sd) و روش ضریب تبیین (R2) دارای بیشترین پایداری بودند. میانگین رتبه‌ها بر اساس همه شاخص‌های تک‌متغیره محاسبه گردیده و رتبه نهایی ژنوتیپ‌ها مشخص گردید (جدول ۶). رتبه ۱ تا ۴ از لحاظ پایداری مناسب به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۹، ۱۴ و ۳ تعلق گرفت و ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۷ نیز به‌صورت مشترک در رتبه ۵ قرار گرفتند. ژنوتیپ ۱۵، ۶، ۱۱ و ۴ نیز به‌ترتیب کمترین مقدار پایداری را (بیشترین مقدار عددی رتبه‌ها) را به‌خود اختصاص دادند. پژوهشگران از روش‌های پایداری تک‌متغره جهت بررسی پایداری غلات متفاوتی استفاده نموده‌اند و در اکثر موارد این روش‌ها به‌عنوان روش‌های مناسب معرفی نموده‌اند. روستایی و همکاران (Raushit *et al.*, 2001) مقایسه‌ای بین روش‌های تک‌متغیره پایداری انجام دادند و علاوه بر مناسب دانستن این روش‌ها، روش‌های واریانس محیطی، واریانس شوکلا و اکووالانس ریک را به‌عنوان روش‌های مناسب‌تری از سایر روش‌ها معرفی نمودند. با استفاده از این معیارها، امیری گنگچین (Amiri Gangchin, 2003) از میان ۱۵ لاین و رقم مورد بررسی گندم دوروم در مناطق نیمه‌گرمسیری و معتدل رقم سیمره را به‌عنوان رقم پایدار معرفی نمودند. بخشایشی و همکاران (Bakshaishi *et al.*, 2015) که پایداری ارقام آبی کشور را در مناطق غرب کشور بررسی نموده بودند روش ضریب تغییرات محیطی را مناسب‌تر از سایر روش‌ها در نظر گرفته و بر اساس آن رقم الموت را به‌عنوان رقم پایدار معرفی نمودند. بخشایشی قشلاق (Bakhshishi Gheshlaq, 2010) نیز با روش‌های پایداری مرتبط با واریانس ارقام توانست ارقام سبلان، نوید و زرین را از میان ۱۵ رقم گندم نان کاشته شده در مناطق سردسیر را معرفی نماید.

جدول ۲- تجزیه مرکب عملکرد دانه گندم

Table 2. Compmbined analysis of wheat grain yield

منبع (Source)	درجه آزادی Degree of Freedom	میانگین مربعات Mean Squares
سال (Year)	3	35927591**
خطای سال (Error of Year)	8	1466054.8
ژنوتیپ (Genotype)	19	742378.6**
محیط × ژنوتیپ (Environment by Genotype)	57	1237716.5**
خطا (Error)	153	642050.1
ضریب تغییرات (Coefficent of Variation)		11.09%

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه برای سال و ژنوتیپ به‌صورت جداگانه

Table 3. Mean comparison of grain yield for year and genotype

سال (Year)	عملکرد دانه (تن در هکتار) (Grain Yield (t/hc))	
1396	a	8688/5
1393	b	7321/6
1395	b	7299/7
1394	c	6221/1
ژنوتیپ (Genotype)	**عملکرد دانه (Grain Yield)**	
14	a	7952/3
16	a	7872/3
13	ab	7738/9
7	abc	7660/9
3	abc	7587
2	abc	7569
8	abcd	7521/7
15	abcd	7420/1
17	abcd	7405
19	abcd	7382/5
18	abcd	7337
10	abcd	7336/8
4	abcd	7253/9
20	abcd	7239/4
12	abcd	7226/6
1	abcd	7217/8
5	abcd	7213/4
9	bcd	6961/6
11	cd	6920/6
6	d	6837/6

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بر اساس روش LSD (۵٪) هستند.

Means with common letters do not have statistically significant differences based on the LSD method (5%).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × ژنوتیپ در عملکرد دانه

Table 4. Comparison of the mean interaction effect of year × genotype in grain yield

سال Year	ژنوتیپ Genotype	عملکرد Yield		سال Year	ژنوتیپ Genotype	عملکرد (Yield)		سال Year	ژنوتیپ Genotype	عملکرد Yield		سال Year	ژنوتیپ Genotype	عملکرد Yield	
1393	1	5763	l-m	1394	1	6540.4	i-m	1395	1	7703.3	b-k	1396	1	8864.4	a-g
1393	2	6651.3	i-m	1394	2	6078	k-m	1395	2	8488.9	a-h	1396	2	9057.8	a-d
1393	3	8301.9	a-j	1394	3	6143.1	k-m	1395	3	7710.6	b-k	1396	3	8192.2	a-j
1393	4	7905.2	a-k	1394	4	6011.4	k-m	1395	4	6113.9	k-m	1396	4	8985	a-d
1393	5	6053.3	k-m	1394	5	6668.7	i-m	1395	5	7150.6	c-l	1396	5	8981.1	a-e
1393	6	5216.3	l-m	1394	6	6136.4	k-m	1395	6	7242.2	c-l	1396	6	8755.6	a-h
1393	7	8446.1	a-i	1394	7	5911.3	k-m	1395	7	8112.8	a-j	1396	7	8173.3	a-j
1393	8	9115.4	a-b	1394	8	5948	k-m	1395	8	5930	k-m	1396	8	9093.3	a-c
1393	9	7044.4	d-l	1394	9	6048.8	k-m	1395	9	6185.6	k-m	1396	9	8567.8	a-h
1393	10	6834.7	g-m	1394	10	6532.4	i-m	1395	10	7100.6	c-l	1396	10	8879.4	a-f
1393	11	7099	c-l	1394	11	4964.4	m-m	1395	11	6991.1	e-l	1396	11	8627.8	a-h
1393	12	6812.3	h-m	1394	12	6263.9	j-m	1395	12	6991.7	e-l	1396	12	8838.3	a-h
1393	13	7876.9	a-k	1394	13	6432.7	i-m	1395	13	7867.2	b-k	1396	13	8778.9	a-h
1393	14	8310.8	a-j	1394	14	6655.6	i-m	1395	14	8202.8	a-j	1396	14	8640	a-h
1393	15	6972.8	e-m	1394	15	5626.5	l-m	1395	15	7602.8	b-k	1396	15	9478.3	a
1393	16	7056.3	d-l	1394	16	6700	i-m	1395	16	8910	a-f	1396	16	8822.8	a-h
1393	17	8424.1	a-i	1394	17	6329	j-m	1395	17	7317.2	c-l	1396	17	7549.4	b-k
1393	18	6923.1	e-m	1394	18	7061.1	d-l	1395	18	7051.7	d-l	1396	18	8312.2	a-i
1393	19	7424.2	b-l	1394	19	6636.7	i-m	1395	19	7045.6	d-l	1396	19	8423.3	a-i
1393	20	8199.9	a-j	1394	20	5732.5	l-m	1395	20	6275.6	j-m	1396	20	8749.4	a-h

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بر اساس روش LSD (۵٪) هستند.

Means with common letters do not have statistically significant differences based on the LSD method (5%).

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

جدول ۵- مقدار آماره‌های تک‌متغیره پایداری در ژنوتیپ‌های گندم و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این آماره‌ها به‌صورت جداگانه

Table 5. Value of univariate stability statistics in wheat genotypes and ranking of genotypes based on these statistics separately

ضریب‌تبیین	خطای استاندارد	ضریب رگرسیون	واریانس پایداری شوکلا	اکووالانس ریک	ضریب تغییرات محیطی	واریانس محیطی	ژنوتیپ
Coefficient of Determination (R^2)	Standard error (sd)	Regression Coefficient (b)	Shukla Stability Variance	Wrick's Ecovalance (W2)	Environmental Coefficient of variation (CV)	Environmental Variance (S^2)	Genotype
0.585	2983697.1	1.024	164174.94	2288933	16.27	1378855.7	1
0.749	3739753.9	1.219	118749.31	1683542	16.33	1528098.1	2
0.823	1496686.4	0.789	38490.62	550327.68	10.32	583380.92	3
0.702	3690719.9	1.191	139889.73	1970489.8	17.21	1557591.4	4
0.671	2783540	1.023	112345.48	1579873.7	15.2	1200985.5	5
0.592	3812926.9	1.16	210860.37	2938831	19.37	1752104.4	6
0.498	2047060.5	0.814	156242.99	2163238.6	13.22	1025207.4	7
0.587	4385024.6	1.242	253078.63	3523063.6	19.38	2023539.5	8
0.829	2581148.8	1.038	47359.83	692123.95	14.39	1002558.6	9
0.905	2248921.5	0.991	20263.17	317540.29	12.47	835763.42	10
0.952	4659197	1.445	62363.64	930749.83	18.78	1687972.5	11
0.947	2584229.6	1.074	12279.09	215176.26	13.41	938762.35	12
0.927	1909747.1	0.919	13996.32	225864.31	10.83	701366.69	13
0.746	1416859.9	0.749	55816.55	784057.69	9.58	580151.45	14
0.984	5389171.1	1.566	74816.3	1111111.4	18.68	1920737	15
0.568	2150326.8	0.862	129507.3	1801441.1	12.76	1008756.7	16
0.233	744412.64	0.406	202256	2759149.4	9.97	545174.22	17
0.717	772916.85	0.548	72409.26	994509.69	7.75	322710	18
0.932	1191882.6	0.727	24137.07	348823.85	8.95	436494.03	19
0.837	3493579	1.211	70101.47	1017425.3	16.46	1350052.3	20

جدول ۶- رتبه ژنوتیپ‌های گندم بر اساس آماره‌های تک‌متغیره پایداری به صورت جداگانه

Table 6. The ranking of wheat genotypes based on the stability univariate statistics separately

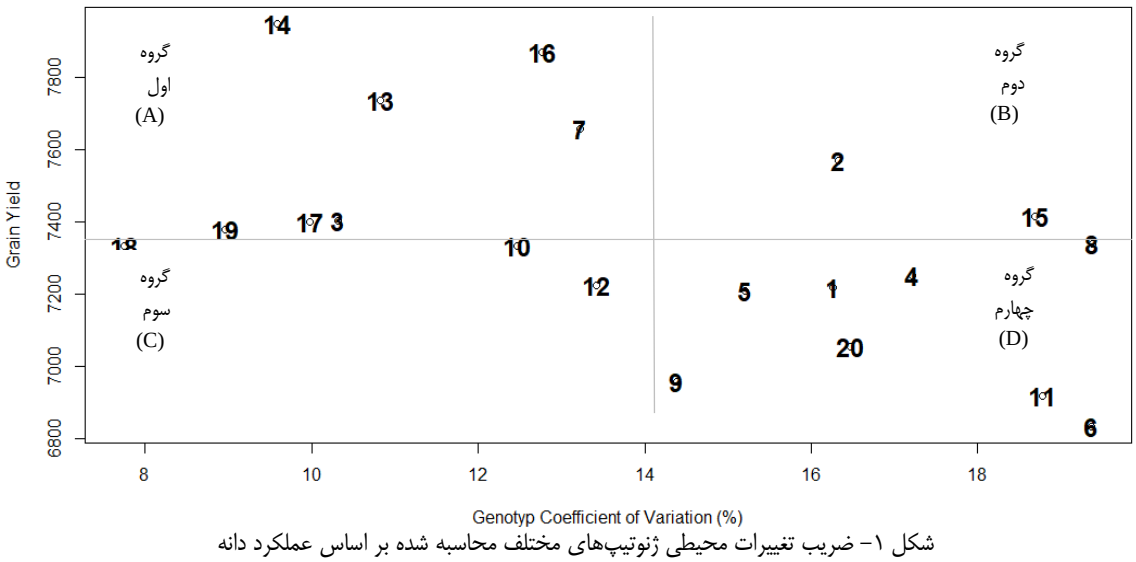
رتبه نهایی	میانگین رتبه	رتبه ضریب‌تبین	رتبه خطای استاندارد	رتبه ضریب رگرسیون	رتبه واریانس پایداری شوکلا	رتبه اکووالانس ریک	رتبه ضریب تغییرات محیطی	رتبه واریانس محیطی	ژنوتیپ
Final Rank	Rank Mean	R^2 Rank	sd Rank	b Rank	Shukla Rank	W2 Rank	CV Rank	S^2 Rank	Genotype
13	12.71	4	13	11	17	17	13	14	1
15	14.14	11	16	17	13	13	14	15	2
4	6	12	5	5	5	5	5	5	3
16	14.29	8	15	15	15	15	16	16	4
12	11	7	12	10	12	12	12	12	5
18	16	6	17	14	19	19	19	18	6
10.5	9.57	2	7	6	16	16	9	11	7
20	17.29	5	18	18	20	20	20	20	8
10.5	9.57	13	10	12	6	6	11	9	9
7	7.57	15	9	9	3	3	7	7	10
17	15.43	19	19	19	8	8	18	17	11
8	8.86	18	11	13	1	1	10	8	12
5.5	6.57	16	6	8	2	2	6	6	13
3	5.57	10	4	4	7	7	3	4	14
19	16.86	20	20	20	11	11	17	19	15
9	9.14	3	8	7	14	14	8	10	16
5.5	6.57	1	1	1	18	18	4	3	17
1	4.86	9	2	2	10	9	1	1	18
2	5	17	3	3	4	4	2	2	19
14	13	14	14	16	9	10	15	13	20

در نهایت با توجه به معیار پایداری CV و میانگین عملکرد یک نمودار پراکنش برای ژنوتیپ‌ها رسم گردید و نتیجه آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. بر اساس این نمودار می‌توان ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه از لحاظ پایداری تقسیم‌بندی کرد. گروه اول شامل ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا و ضریب تغییرات پایین است که به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

شناخته می‌شود. ژنوتیپ‌های گروه دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ژنوتیپ‌های با ضریب تغییرات بالا و عملکرد بالا، ژنوتیپ‌های با ضریب تغییرات پایین و عملکرد پایین و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و ضریب تغییرات بالا هستند. از لحاظ معیار پایداری ژنوتیپ‌های گروه یک و سه پایدار هستند. گروه اول دارای پایداری دینامیک (Dynamic stability) و گروه سوم دارای پایداری استاتیک (Static stability) می‌باشند (Messhenas *et al.*, 2023). بر این اساس گروه اول که شامل ژنوتیپ‌ها ژنوتیپ‌های ۱۹، ۱۴، ۱۷، ۳، ۱۳، ۱۶ و ۷ هستند دارای پایداری دینامیک بوده و ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های مناسب جهت بررسی امکان‌سنجی برای معرفی رقم خواهند بود.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و امکان تفکیک مجموع مربعات آن برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، از روش چندمتغیره AMMI جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها نیز استفاده شد. AMMI به‌عنوان اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضربی (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) شناخته می‌شود که بر اساس اثرات موجود در جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط را به‌عنوان اثرات جمع‌پذیر و اثر متقابل را به‌عنوان اثر ضرب‌پذیر در نظر می‌گیرد (Vahed Rezaei *et al.*, 2024). پس از تجزیه واریانس به‌عنوان مدل‌سازی جهت اثرات با اثر افزایشی، این روش اثر متقابل را به‌صورت روش ضرب‌پذیر و به‌وسیله روش چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis or PCA) مدل‌سازی کرده و با استفاده از مؤلفه‌های به‌دست آمده پایداری ژنوتیپ‌ها را بررسی می‌کند (Farshadfar, 1998). روش تک‌متغیره رگرسیونی ابرهارت راسل نیز از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای تحلیل پایداری استفاده می‌کند ولی این روش هم به‌تفکیک اثرات جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر بر اساس مدل آماری خود می‌پردازد و هم به‌جای رگرسیون OLS از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای این بررسی استفاده می‌نماید و بنابراین روش توانمندتری از پارامترهای پایداری تک‌متغیره است (Mahmodi *et al.*, 2011). نتایج تجزیه واریانس مدل AMMI نشان داد که سه مؤلفه اول مدل دارای اثر معنی‌داری هستند و در مجموع قادر به توجیه صددرصدی تغییرات در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بودند (جدول ۷). دو مؤلفه اول این حدود ۸۶ درصد از تغییرات را توجیه نمودند و بنابراین نمودار بای‌پلات مربوط به این مؤلفه‌ها که شامل پراکنش محیط‌ها و ژنوتیپ‌های مورد بررسی است در شکل ۲ آورده شده است. بای‌پلات در مدل AMMI به‌درستی طول بردار مربوط به سال ۱۳۹۳ را کوتاه نمایش می‌دهد که نشان‌دهنده پایین بودن عملکرد ژنوتیپ‌ها در این سال است. در این روش ژنوتیپ‌هایی که به مختصات نمودار نزدیک‌تر هستند دارای پایداری بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۰، ۱۲، ۳، ۱۴ و ۹ به‌ترتیب دارای کمترین فاصله از مبدا مختصات نمودار بودند. رارابتی و همکاران (Rharrabti *et al.*, 2003) نیز از بین چندین روش تجزیه پایداری که برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط روی ژنوتیپ‌های گندم دوروم استفاده کرده بودند، AMMI را روشی با کارایی بالاتر از روش‌های رگرسیونی اعلام کردند. نجفی میرک و همکاران (Najafi Mirek *et al.*, 2018) ۱۸ لاین گندم دوروم و ۲ رقم شاهد را با استفاده از معیارهای پایداری تک‌متغیره و چندمتغیره به‌روش AMMI بررسی کردند و نتیجه گرفتند که روش AMMI روش مناسبی جهت تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار است. همچنین آنها عنوان نمودند که استفاده از این روش در همراهی با سایر روش‌های تک‌متغیره می‌تواند کارایی انتخاب جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها را افزایش دهد. در نهایت در این پژوهش دو ژنوتیپ گندم دوروم به‌عنوان ژنوتیپ‌های مستعد برای معرفی رقم انتخاب شدند.



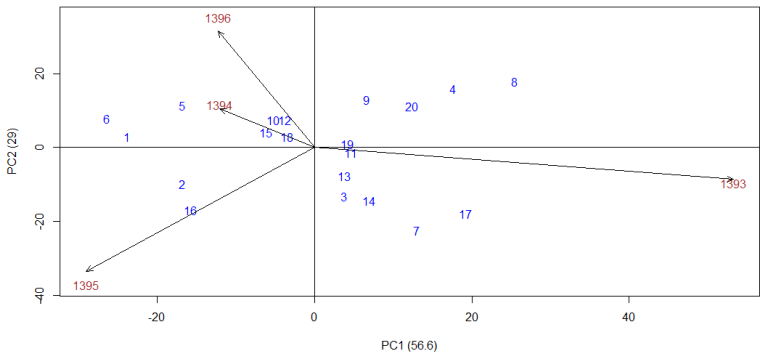
شکل ۱- ضریب تغییرات محیطی ژنوتیپ‌های مختلف محاسبه شده بر اساس عملکرد دانه
Figure 1. Environmental variation coefficient of different genotypes calculated based on seed yield

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

جدول ۷- تجزیه واریانس مربوط به مدل AMMI

Table 7. Analysis of variance related to the AMMI model

درصد توجیه	احتمال	مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع	Source
Accumulation (%)	Pr(>F)	F Value	Mean Squares	Sum of Squares	Degree of Freedom		
-	0	45.199564	70974837	212924510	3	محیط	Environment
-	-	2.4456889	1570254.9	31405098	20	تکرار داخل محیط	Replication(environment)
-	0.0403043	1.7178154	1102923.6	20955549	19	ژنوتیپ	Genotype
-	0.0010843	1.9277568	1237716.5	70549840	57	محیط در ژنوتیپ	Environment by Genotype
						مولفه	Component
56.6	0	14.05	9022476.5	189472006	21	اول	PC1
29	0	7.96	5111600.8	97120416	19	دوم	PC2
14.4	0	4.41	2833108.6	48162846	17	سوم	PC3
-	-	-	642050.13	86034718	134	باقی مانده	Residual



شکل ۲- بای‌پلات مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ و محیط با مدل AMMI

Figure 2. Biplot related to the interaction effect of genotype and environment with AMMI model

جهت بررسی عمیق‌تر پایداری ژنوتیپ‌ها از روش چندمتغیره GGE نیز استفاده گردید. در روش چندمتغیره GGE که شامل اثر ژنوتیپ به اضافه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط (Genotyp+ Genotype×Environment) است نیز مانند AMMI و سایر پارامترهای تک‌متغیره تجزیه پایداری اهداف مشابهی دنبال می‌گردد که هدف آن یافتن بهترین ترکیبات ژنوتیپی برای رسیدن به پایداری مناسب و معرفی ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی است (Saed-Moucheshi *et al.*, 2022). هر دو روش نیز از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (در اکثر موارد) برای این هدف استفاده می‌کنند، ولی تفاوت این دو روش در منبع تجزیه شونده به مؤلفه‌های اصلی است (Farshadfar *et al.*, 2012). بر این اساس در روش GGE به‌جای استفاده از فقط اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط در تجزیه PCA، از دو منبع تغییرات مدل آماری خود شامل ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) بهره می‌برد و بنابراین معتبرتر خواهد بود (Bosi *et al.*, 2022; Mohammadi *et al.*, 2009). همچنین در این روش تعداد مؤلفه اصلی برابر درجه آزادی هرکدام از منابع ژنوتیپ و محیط که معمولا از منبع اصلی با سطوح کمتر در جدول تجزیه واریانس است استفاده می‌شود، که معمولا تعداد این مؤلفه برابر سطوح اثر محیطی در نظر گرفته می‌شود (Amini *et al.*, 2023). نتایج این تحلیل نشان‌دهنده توجیه بیش از ۸۰ درصدی تغییرات مربوط به اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط دو مؤلفه اول این مدل بود (شکل ۳). نمودار بای‌پلات مربوط به ژنوتیپ و محیط در مدل GGE که در شکل ۴ آورده شده است نشان‌دهنده پایداری مناسب ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۵، ۱۹، ۱۰، ۳ ، ۱۲، ۱۳ و ۱۱ بود زیرا این ژنوتیپ‌ها کمترین فاصله را از مرکز مختصات نمودار داشتند.

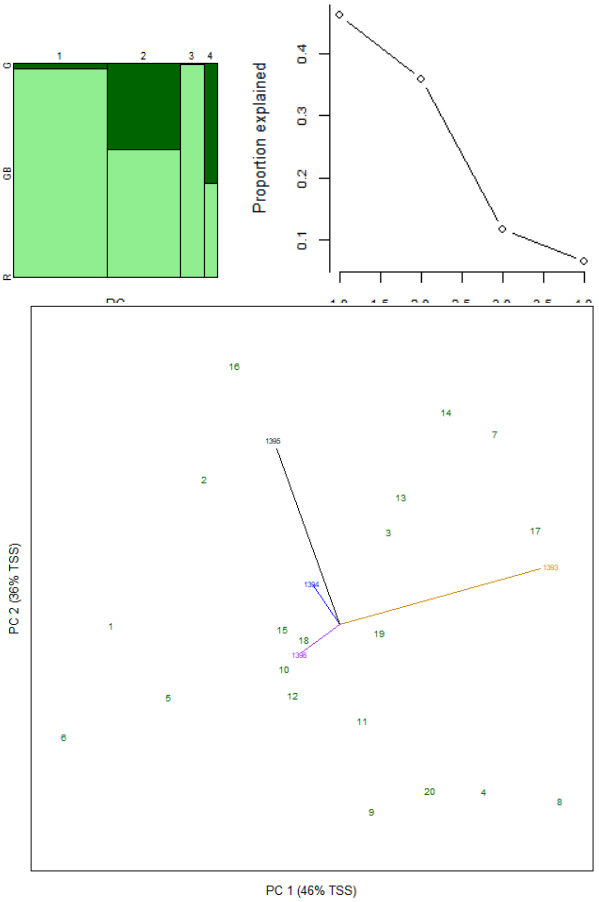
از روش تصویری نقشه‌گرمایی که بر اساس رنگ‌ها می‌توان عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف را در سال‌های متفاوت مشخص کرد نیز جهت بررسی پاسخ ژنوتیپ به سال استفاده گردید (شکل ۴). نقشه‌گرمایی یک روش ترسیمی جدید برای به تصویر کشیدن ارتباط متغیرها و شباهت‌های آن‌ها با استفاده از عمق رنگ‌های مورد استفاده است (Saed-Moucheshi *et al.*, 2022). از این روش نیز به‌عنوان یک روش چندمتغیره برای پی‌بردن به نحوه ارتباط محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها به‌صورت جداگانه و باهم مورد استفاده قرار گرفت. این روش یک روش با کارایی بالا برای تشخیص ژنوتیپ‌های مناسب در هر منطقه به‌صورت خصوصی است. عمق بیشتر رنگ نشان‌دهنده ارتباط شدیدتر و نزدیک‌تر است در حالی‌که عمق رنگ کمتر و به اصلاح روشن‌تر نشان‌دهنده ارتباط کمتر یا شباهت کمتر است (Saed-Moucheshi *et al.*, 2022). این روش سال‌ها را به سه گروه تقسیم‌بندی که نتایج مقایسه میانگین را تأیید می‌کند. ژنوتیپ‌ها نیز بر اساس این روش به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند. گروه اول (از بالای نمودار) شامل ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۳، ۷، ۳، ۱۶ و ۲، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۹، ۱۰، ۱۲، ۵، ۱ و ۶، گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱، ۸، ۴، ۲۰ و ۹ و گروه چهارم شامل

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

ژنوتیپ ۱۷ بود. ابتدا ژنوتیپ‌هایی که در گروه اول قرار گرفتند و به‌صورت تقریبی رنگ‌های روشن‌تری را در سال‌های متفاوت نشان دادند دارای پایداری عملکرد مناسب‌تری هستند.

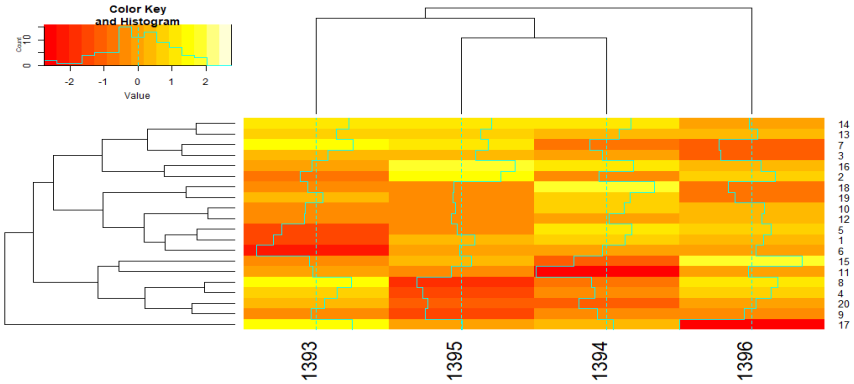
نتیجه‌گیری کلی

تجزیه واریانس مرکب در این پژوهش نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ارتباط با عملکرد دانه بود. به‌دلیل معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف، تجزیه‌های پایداری جهت امکان‌سنجی معرفی ارقام جدید دوروم با عملکرد بالا و پایداری مناسب در محیط‌های متفاوت، از روش‌های پایداری مختلفی در این پژوهش استفاده گردید. روش‌های مختلف پایداری تک‌متغیره شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، واریانس شوکلا، روش مجموع مربعات رگرسیون، ضریب رگرسیون، باقی‌مانده مدل رگرسیون و ضریب تبیین به‌همراه روش‌های چندمتغیره شامل مدل AMMI و مدل GGE و همچنین روش نقشه‌گرمایی بود و پایداری و نحوه پاسخ ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم به‌همراه دو رقم شاهد (هانا و پارسی) بررسی گردید. نقشه‌گرمایی قادر به تفکیک سه گروه محیطی بود که نتایج مقایسه میانگین را تأیید نمود. تعداد گروه‌های تفکیک شده ژنوتیپ‌ها بر اساس محیط‌های آزمایشی نیز شامل ۴ گروه متفاوت بود. روش‌های پایداری مورد استفاده نیز تفاوت‌هایی را جهت مشخص نمودن ژنوتیپ‌های پایدار و حساس نشان دادند. بنابراین، جهت خلاصه کردن نتایج مربوط به همه روش‌های پایداری و مقایسه آنها با عملکرد کل دانه در ژنوتیپ‌ها، جدول ۸ ارائه گردیده است که شامل رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های بررسی شده بر اساس هرکدام از روش‌های پایداری تک و چندمتغیره است. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۴، ۱۳ و ۳ دارای عملکرد نهایی بالا و پایداری مناسب (بالاتر از متوسط) بر اساس همه روش‌های پایداری و ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۸ نیز دارای پایداری بالا و عملکرد کل مناسب (بالاتر از متوسط) بودند. چهار ژنوتیپ ۱۶، ۱۴، ۱۳ و ۳ که پایداری مناسبی داشتند دارای عملکرد متوسط بالاتر از هر دو شاهد بودند ولی دو ژنوتیپ ۱۹ و ۱۸ که دارای پایداری بالایی بودند عملکرد بیشتر از رقم هانا و کمتر از رقم پارسی نشان دادند. در نهایت پیشنهاد می‌گردد که ژنوتیپ‌های ۱۹، ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۱۳ و ۳ جهت بررسی بیشتر وارد آزمایش‌های منطقه‌ای تحقیقی-ترویجی گردند تا در نهایت مناسب‌ترین آنها به‌عنوان رقم جدید گندم دوروم معرفی شود.



شکل ۳- مقدار توجیه واریانس هر مولفه به‌همراه نمودار بای‌پلات مربوط به تحلیل پایداری در مدل GGE
Figure 3. The variance justification value of each component along with the biplot diagram related to stability analysis in the GGE model

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]



شکل ۴- گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها (تجزیه خوشه‌ای) و محیط‌های آزمایشی بر اساس مقدار عملکرد دانه با استفاده از نقشه‌گرمایی
Figure 4. Grouping of genotypes (Cluster analysis), genotypes and experimental environments based on the value of grain yield using heat mapg.

جدول ۸- رتبه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس روش‌های پایداری متفاوت
Table 8. Genotype ranking of studied genotypes based on different stability methods

نقشه‌گرمایی	جی‌جی‌ایی	امی	روش‌های تک‌متغیره	عملکرد	رتبه
Heatmap	GGE	AMMI	Univariate Methods	Yield	Rank
14	18	18	18	14	1
13	15	19	19	16	2
7	19	11	14	13	3
3	10	13	3	7	4
16	3	15	13	3	5
2	12	10	17	2	6
18	13	12	10	8	7
19	11	3	12	15	8
10	5	14	16	17	9
12	1	9	7	19	10
5	14	20	9	18	11
1	20	5	5	10	12
6	7	2	1	4	13
15	9	16	20	20	14
11	4	4	2	12	15
8	6	7	4	1	16
4	2	8	11	5	17
20	17	17	6	9	18
9	8	1	15	11	19
17	16	6	8	6	20

References

Aliakbari, M., Saed-Moucheshi, A., Hasheminasab, H., Pirasteh-Anosheh, H., Asad, M. T., & Emam, Y. (2013). Suitable stress indices for screening resistant wheat genotypes under water deficit conditions. *International Journal of Agronomy Plant Production*, *4*(10), 2665-2672.

Amini, a., Asadi, A. A., Chaichi, M., Ezat-Ahmadi, M., Gasemi, M., Eivazi, A. R.,… & Godsi, M. (2023). Investigating the Stability of Bread Wheat Genotypes under Water Deficit Stress Conditions in Different Cold Climate Regions of Iran using AMMI and GGE-Biplot Analysis. *Journal of Crop Breeding*, *15*(48), 78-92. [In Persian]

Amiri Gangchin, A. (2003). Examining the compatibility and stability of durum wheat cultivars in semi-tropical and semi-arid areas of the country. *Seedling and Seed Journal*, *12*, 42-48.

Bakhshishi Gheshlaq, M. (2010). Investigating the yield stability of several varieties of bread wheat using sustainability criteria in the cold climate of Kurdistan. *Iranian Journal of Agricultural Research*, *12*, 89-103.

Bakshaishi, Q., Masoud, A., & Shekarchi, Z. (2015). Evaluation of bread wheat genotypes using drought stress tolerance indices. *Agricultural Plant Breeding Journal*, *7*(16), 49-59.

Bosi, S., Negri, L., Fakaros, A., Oliveti, G., Whittaker, A., & Dinelli, G. (2022). GGE biplot analysis to explore the adaption potential of Italian common wheat genotypes. *Sustainability*, *14*(2), 897.

Fadakar Navrood, F., Asghari Zakaria, R., Mostafavi Rad, M., Zare, N., & Moghaddaszadeh Ahrabi, M. (2024). Evaluation of the Genotype × Environement Interaction on Agronomic Traits and Seed Yield Stability in Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Genotypes Using the GGE Biplot Method. *Journal of Crop Breeding*, *16*(2), 29-41. [In Persian]

Farshadfar, A. (1998). *Application of quantitative genetics in plant breeding.* (Vol. 2). Razi University Press.

Farshadfar, E., Mohammadi, R., Aghaee, M., & Vaisi, Z. (2012). GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(6), 1074-1079.

Mahmodi, N., Yaghotipoor, A., & Farshadfar, E. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum*L.). *Australian Journal of Crop Science*, *5*(13), 1837-1844.

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]

Messhenas, M., Najafi Zarini, H., Rameei, V., & Ranjbar, G. (2023). Identification of Stable and Drought-Tolerant Soybean Cultivars using AMMI and GGE Biplot Analysis. *Journal of Crop Breeding*, *15*(47), 195-205. [In Persian]

Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., & Ceccarelli, S. (2009). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, *61*(1), 92-101.

Najafi Mirak, T., Khodarahmi, M., Malihipour, A., Roohparvar, R., Dadrezaei, T., Mehrabi, R.,… & Sasani, S. (2021). Sana, a New Durum Wheat Cultivar Adapted to Temperate Wheat Growing Areas of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *10*(2), 81-90.

Najafi Mirak, T., Sasani, S., Khodarahmi, M., Moayedi, A., Jafarnzhad, A., Taherian, M.,…Afshari, F. (2019). Hana, a new durum wheat cultivar adapted to wheat growing areas intemperate agro-climate zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *8*(1), 1-12.

Najafi Mirek, T., Moveidi, A. A., Sasani, S., & Ghandi, A. (2018). Evaluation of compatibility and stability of grain yield of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L.) in temperate regions of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *21*(2), 127-138.

Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. In P. Ahmad (Ed.), *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach* (pp. 24-40). John Wiley & Sons, Ltd.

Raushit, M., Sadeghzadeh Ahri, D., Pashapour, H., & Hasanpour, H. (2001). Investigating the compatibility and stability of grain yield of bread wheat genotypes in cold and temperate regions. *Seedling and Seed Journal*, *19*, 263-275.

Rharrabti, Y., del Moral, L. F. G., Villegas, D., & Royo, C. (2003). Durum wheat quality in mediterranean environments: III. Stability and comparative methods in analysing G× E interaction. *Field Crops Research*, *80*(2), 141-146.

Riasat, M., Pessarakli, M., Niaz, A. A., & Saed-Moucheshi, A. (2018). Assessment of different wheat genotypes with altered genetic background in response to different salinity levels. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(14), 1821-1833.

Riasat, M., Saed-Mouchehsi, A., & Jafari, A. A. (2020). Effect of Drought Stress Levels on Seedling Morpho-physiological Traits of Alfalfa (*Medicago sativa*) Populations grown in Glasshouse. *Journal of Rangeland Science*, *10*(1), 86-97.

sabzi, z., Fazeli, A., & vaezi, b. (2023). Application of Drought Tolerance Indices for Grouping Advanced Barley Cultivars and Lines. *Journal of Crop Breeding*, *15*(48), 189-200. [In Persian]

Saed-Moucheshi, A., & Mozafari, A. A. (2022). Alternate gene expression profiling of monoterpenes in Hymenocrater longiflorus as a novel pharmaceutical plant under water deficit. *Scientific Reports*, *12*(1), 1-13.

Saed-Moucheshi, A., Mozafari, A. A., Pessarakli, M., Rezaei Mirghaed, E., Sohrabi, F., Zaheri, S., … & Baniasadi, F. (2022). Improved strategy of screening tolerant genotypes in drought stress based on a new program in R-language: a practical triticale breeding program. *Journal of Plant Nutrition*, *2023*, 1-18.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mikhak, A., Ostovar, P., & Ahamadi-Niaz, A. (2017). Investigative approaches associated with plausible chemical and biochemical markers for screening wheat genotypes under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *40*(19), 2768-2784.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mozafari, A. A., Sohrabi, F., Moradi, M., & Marvasti, F. B. (2022). Screening barley varieties tolerant to drought stress based on tolerant indices. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(5), 739-750.

Sasani, S. (2015). Study of superior elite durum-wheat lines (DM-89-03ˇ DM-89-04, DM-89-14 & DM-89-15) compare to local checks, on farmer's fields of moderate climate in Kermanshah province (On-farm).

Sassani, S., Amiri, A., Sharifi, A., & Lotfi, A. (2018). Investigating the stages of growth and development of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Kermanshah using the growth degree day index under the conditions of hastening and delaying the planting date. *Cereal Research*, *9*(2), 143-156.

Shiri, M., Moharramnejad, S., Estakhr, A., Fareghi, S., Najafinezhad, H., Khavari Khorasani, S., … & Mohseni, M. (2024). Determining the Stability of New Maize Hybrids with WAASBY and MTSI Indices. *Journal of Crop Breeding*, *16*(2), 14-28. [In Persian]

Tabarzad, A., Ayoubi, B., Riasat, M., Saed-Moucheshi, A., & Pessarakli, M. (2017). Perusing biochemical antioxidant enzymes as selection criteria under drought stress in wheat varieties. *Journal of Plant Nutrition*, *40*(17), 2413-2420.

Taherian, M., & Sasani, S. (2020). Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran.

Vahed Rezaei, A., Asghari, A., Norouzi, M., Aharizad, S., Roohparvar, R., & Amini, A. (2024). Biometric Analysis of Some Physiological Traits Related to Stem Rust Disease Resistance in The Elit Wheat Lines. *Journal of Crop Breeding*, *16*(1), 140-152. [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.129]