

## Research paper

# Selection of Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* L.) with High and Stable Grain Yield in Drought Stress Conditions

Ali Barati<sup>1</sup>, Elias Arazmjo<sup>2</sup> , Seyyed Ali Tabatabaei<sup>3</sup> and Habib Alah Ghazvini<sup>4</sup>

1- Assistant professor, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Assistant professor, Education and Extension Organization (AREEO), Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran,  
(Corresponding author: elias.arazmjo@gmail.com)

3- Associate professor, Education and Extension Organization (AREEO), Crop and Horticultural Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

4- Professor, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 5 December, 2023

Revised: 24 February, 2024

Accepted: 2 March, 2024

Available Online: 6 May, 2024

## Extended Abstract

**Background:** The increased demand for cereals that are consumed by humans and livestock can be met through the development of planting drought-tolerant genotypes. Due to the interaction of genotypes  $\times$  environment, the best genotype in one environment may not be the best in other environments, and therefore, this interaction provides valuable information about the yield of each genotype in different environments and plays an important role in evaluating yield stability. Genetic modification of drought tolerance in crops is one of the most stable and cost-effective approaches to increase production and yield stability. Examining the compatibility and stability of grain yield based on various parametric and non-parametric stability statistics and evaluating tolerance to drought stress based on stress indices in promising barley genotypes of the country's temperate climate are among the goals of this research.

**Methods:** To assess grain yield adaptation and stability and to select high-yielding barley genotypes suitable for terminal drought stress in the temperate climate of Iran, 16 barley genotypes were cultivated during two crop years 2021-2023 in a randomized complete blocks design with three replications in three research stations including Varamin, Birjand, and Yazd under two none-stress and drought stress conditions at the end of the season (12 environments). After determining the grain yield, stress indices, including MP, GMP, TOL, HARM, STI, YI, YSI, RSI, and SSI, and the correlation of each with grain yield were calculated in this study. Stability statistics included Nassar and Huehn's stability statistics ( $S^{(1-6)}$ ), Thennarasu's stability statistics ( $NP^{(1-4)}$ ), deviation from regression ( $S^2d_i$ ), regression coefficient ( $b$ ), Shukla's stability variance ( $\sigma^2_i$ ), environmental variation coefficient (CV), variance component ( $\theta_i$ ), coefficient of variance ( $\theta(i)$ ), Wricke's ecovalence ( $W_i^2$ ), and Kang's sum of ranks (KR). Their relationships were calculated based on Pearson's correlation. Analysis of variance (ANOVA), mean comparison, and simple correlation were calculated using the SAS-9.0 program, stability statistics were calculated using STABILITYSOFT and principal component analysis (PCA). Stress indices and the correlation of each of these indices with grain yield were calculated using iPASTIC. The three-dimensional distribution diagram of genotypes in the ranges of A, B, C, and D was drawn using Grapher software.

**Results:** The results of the combined ANOVA indicated the significance of the genotype  $\times$  environment interaction. According to  $S^{(1-2)}$  statistics, G7, G10, G11, and G3, and according to  $S^{(3-6)}$  statistics, G7, G3, and G9 were the most stable genotypes. Among the non-parametric Thennarasu's stability statistics according to the  $NP^{(1)}$  criterion of G9, G3, and G5, according to  $NP^{(2)}$  G5, G3, and G8, and according to  $NP^{(3)}$  and  $NP^{(4)}$  criteria, G7, G3, and G9 were recognized as the most stable genotypes. Based on Wricke ( $W^2$ ) and Shukla ( $\sigma^2$ ) equivalency stability



statistics, G3, G9, and G13 were the most stable genotypes. Based on Eberhart and Russell's regression method, G9, G7, and G3 genotypes, with high yields, had general compatibility and good yield stability. Based on Francis and Kannenberg (CVi), genotypes G1, G2, and G15 had the lowest coefficients of environmental variation. Based on the average rank of each genotype in all stress indices (AR), G2, G7, and G3 genotypes were the most tolerant, and G14, G11, and G10 were the most sensitive genotypes to drought stress at the end of seasons, respectively. In the drought stress conditions at the end of the season, grain yield had positive and significant correlations with YI, HM, GMP, STI, MP, YSI, and RSI indices and negative and significant correlations with the SSI index. In non-stress conditions, grain yield had positive and significant correlations with MP, GMP, STI, HM, and YI indices, but no significant correlations were observed between grain yield and SSI, TOL, YSI, and RSI indices. The PCA revealed that the first and the second principal components explained 69.71% and 30.27% of the variance of the main variables, respectively. The first main component had a positive and high correlation with yield in both stressed and non-stressed environments, as well as MP, STI, GMP, and HM indices. The second component showed a positive and high correlation with grain yield in the non-stressed environment and TOL and SSI indices; it also had negative and high correlations with RSI and YSI indices. Based on the biplot diagram, G3, G7, G8, G9, G12, and G13 presented higher grain yield potential and are more tolerant to drought stress.

**Conclusion:** In this study, grain yield had negative and significant correlations with NP<sup>(3)</sup>, KR, NP<sup>(2)</sup>, NP<sup>(4)</sup>, S<sup>(6)</sup>, and S<sup>(1)</sup> statistics, respectively, therefore these statistics can be used for identifying stable genotypes. G3, G7, and G9 with averages of 6732.9, 6730.6, and 6608.1 kg/ha, respectively, not only produced the highest grain yield but also showed the highest grain yield stability and tolerance to terminal drought stress among the studied genotypes based on the total ranking of all studied stability statistics and stress indices. Therefore, they can be used as new cultivars in drought-affected regions in temperate climates or as desirable genetic materials in barley breeding programs for drought tolerance.

**Keywords:** Adaptation, Genotype × Environment interaction, Parametric and non-parametric statistics, Principal Component Analysis, Regression

**How to Cite This Article:** Barati, A., Arazmjo, E., & Tabatabaei, S.A., Ghazvini, H. A. (2024). Selection of Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* L.) with High and Stable Grain Yield in Drought Stress Conditions. *J Crop Breed*, 16(2), 148-159. DOI: 10.61186/jcb.16.2.148



مقاله پژوهشی

گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare L.*) با عملکرد دانه مطلوب و پایدار در شرایط تنش خشکی

علی براتی<sup>۱</sup>، الیاس آرمجو<sup>۲</sup>، سید علی طباطبائی<sup>۳</sup> و حبیب‌الله قزوینی<sup>۴</sup>

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
 ۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران، (نویسنده مسؤل: elias.arazmjo@gmail.com)

۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بزد، ایران  
 ۴- استاد، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۳/۱۷ صفحه: ۱۴۸ تا ۱۵۹

چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** افزایش تقاضا برای غلاتی که به مصرف انسان و دام می‌رسند را می‌توان از طریق توسعه کاشت ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برآورده کرد. به دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در سایر محیط‌ها بهترین نباشد و بنابراین، این اثر متقابل اطلاعات ارزشمندی در خصوص عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارائه داده و نقش مهمی در ارزیابی پایداری عملکرد دارد. اصلاح ژنتیکی تحمل به خشکی در گیاهان زراعی جزو پایدارترین و مقرون به صرفه‌ترین روش‌ها برای افزایش تولید و پایداری محصول است. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه بر اساس آماره‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری پایداری و ارزیابی تحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو اقلیم معتدل کشور از اهداف این تحقیق هستند.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه و انتخاب ژنوتیپ‌های جو پرمحصول در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل کشور، تعداد ۱۶ ژنوتیپ جو طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی ورامین، بیرجند و بزد در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل (۱۲ محیط) کشت گردیدند. پس از تعیین عملکرد دانه، شاخص‌های تنش شامل GMP, MP, G, YI, YSI, STI, HARM, SSI و همبستگی هر یک از آنها با عملکرد دانه محاسبه گردید. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل آماره‌های پایداری نصار و هان (S<sup>(1-6)</sup>), تنارزو (NP<sup>(1-4)</sup>), انحراف از خط رگرسیون (S<sup>2d</sup>), شیب خط رگرسیون (b), واریانس پایداری شوکلا (σ<sup>2</sup>), ضریب تغییرات محیطی (CV), میانگین واریانس‌ها (θ<sub>i</sub>) و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (θ<sub>ii</sub>), اکووالانس ریک (W<sup>2</sup>) و مجموع رتبه کانگ (KR) و روابط بین این آماره‌ها بر اساس همبستگی پیرسون محاسبه شدند. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی ساده با استفاده از برنامه SAS-9.0، آماره‌های پایداری با استفاده از برنامه STABILITYSOFT و تحلیل مولفه‌های اصلی، شاخص‌های تنش و همبستگی هریک از این شاخص‌ها با عملکرد دانه با استفاده از برنامه iPASTIC محاسبه شد. نمودار پراکنش سه بعدی ژنوتیپ‌ها در محدوده‌های A، B، C و D نیز با استفاده از نرم‌افزار Grapher ترسیم گردید.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از معنی‌داری برهمکنش ژنوتیپ در محیط بود. از نظر آماره‌های S<sup>(1-2)</sup> ژنوتیپ‌های G10، G11، G3 و G7 و بر اساس آماره‌های S<sup>(3-6)</sup> ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در بین معیارهای ناپارامتری تنارزو با توجه به معیار NP<sup>(1)</sup> ژنوتیپ‌های G3، G9 و G5، با توجه به معیار NP<sup>(2)</sup> ژنوتیپ‌های G3، G5 و G8 و با توجه به معیارهای NP<sup>(3)</sup> و NP<sup>(4)</sup> نیز ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بر اساس آماره‌های پایداری اکووالانس ریک (W<sup>2</sup>) و شوکلا (σ<sup>2</sup>) ژنوتیپ‌های G9، G3 و G13 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس روش رگرسیونی ابرهارت و راسل نیز ژنوتیپ‌های G7، G9 و G3 که عملکرد بالایی نیز داشتند، از سازگاری عمومی و پایداری عملکرد خوبی برخوردار بودند. بر اساس ضریب تغییرات محیطی فرانسویس و کانبرگ (CVi)، ژنوتیپ‌های G1، G2، G15 و G1 از کمترین ضریب تغییرات محیطی برخوردار بودند. از طرف دیگر، بر اساس میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌های تنش (AR) نیز ژنوتیپ‌های G7، G2 و G3 به‌ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و G11، G14 و G10 نیز به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناسایی گردیدند. در شرایط تنش خشکی انتهای فصل عملکرد دانه به‌ترتیب با شاخص‌های YI، GMP، STI، MP، YSI، HARM، SSI و همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص SSI نیز همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. در شرایط بدون تنش نیز عملکرد دانه به‌ترتیب شاخص‌های GMP، STI، HM و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت اما بین عملکرد دانه با شاخص‌های SSI، YSI، TOL، RSI همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید. تحلیل مولفه‌های اصلی نیز نشان داد که مولفه اصلی اول ۶۹/۷۱ درصد و مولفه اصلی دوم نیز ۳۰/۲۷ درصد از واریانس متغیرهای اصلی را توجیه کردند. مولفه اصلی اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین شاخص‌های GMP، STI، HM و مولفه دوم نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در محیط بدون تنش و شاخص‌های TOL و SSI و همچنین همبستگی منفی و بالایی نیز با شاخص‌های YSI و RSI داشت. بر اساس نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G3، G7، G8، G9، G12 و G13 از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری برخوردار بوده و نسبت به تنش خشکی متحمل‌ترند.

**نتیجه‌گیری:** عملکرد دانه در این بررسی به‌ترتیب با آماره‌های NP<sup>(3)</sup>، KR، NP<sup>(2)</sup>، NP<sup>(4)</sup> و S<sup>(6)</sup> و همبستگی منفی و معنی‌داری داشت و بنابراین از این آماره‌ها می‌توان در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمود. ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۷۳۲/۹، ۶۷۳۰/۶ و ۶۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار ضمن داشتن بیشترین عملکرد دانه، با در نظر گرفتن مجموع رتبه‌بندی تمام آماره‌های پایداری مورد مطالعه و همچنین شاخص‌های تنش، از بالاترین پایداری عملکرد دانه و تحمل به خشکی انتهای فصل در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز برخوردار بودند و می‌توان از آنها به‌عنوان رقم با ارزش در مناطق متأثر از تنش خشکی در اقلیم معتدل و یا به‌عنوان مواد ژنتیکی مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی جو برای افزایش به تحمل به خشکی استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** آماره‌های پارامتری و ناپارامتری، برهمکنش ژنوتیپ در محیط، تحلیل مولفه‌های اصلی، رگرسیون، سازگاری

مقدمه

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که در تمام مناطق آب و هوایی رخ می‌دهد و مناطقی که مستعد خشکسالی هستند در حدود ۴۱-۱۶ درصد از اراضی زراعی در دنیا را تشکیل می‌دهند (Kebede et al., 2019). جو (*Hordeum vulgare L.*) از قدیمی‌ترین غلات اهلی شده توسط انسان و

نمودند که بر اساس معیارهای ناپارامتری تنازرو، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کمتر از میانگین کل گزینش شدند و در مقابل استفاده از نتایج آماره عملکرد-پایداری منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیشتر از میانگین کل گردید. نیکخواه و همکاران (Nikkhah et al., 2022) با ارزیابی بیست ژنوتیپ جو در ۴ ایستگاه تحقیقاتی در اقلیم معتدل کشور در شرایط تنش خشکی انتهای فصل از پارامترهای پایداری استفاده نموده و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و پایدار را شناسایی نمودند. آبیاری و همکاران (Abyar et al., 2021) ضمن ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط و پایداری عملکرد دانه لاین‌های مختلف گندم نان با استفاده از روش‌های ناپارامتری گزارش نمودند که آماره‌های ناپارامتری  $S_1^{(3)}$ ،  $S_1^{(6)}$ ،  $NP_1^{(3)}$ ،  $NP_1^{(4)}$  و KR و Top رابطه معنی‌داری با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری داشته و بنابراین استفاده از آن‌ها برای گزینش لاین‌های پایدار با عملکرد بالا در گندم مناسب است. امینی و همکاران (Amini et al., 2010) همبستگی رتبه‌ای بین آماره‌های مختلف پایداری و عملکرد دانه را بررسی نموده و روش ناپارامتری رتبه‌بندی و همچنین معیار کانگ را گزینه‌های مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم معرفی نمودند.

اصلاح ژنتیکی تحمل به خشکی در گیاهان زراعی جزو پایدارترین و مقرون به صرفه‌ترین روش‌ها برای افزایش تولید و پایداری محصول است. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه بر اساس آماره‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری پایداری و ارزیابی تحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو اقلیم معتدل کشور از اهداف این تحقیق هستند.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه، شاخص‌های تنش و ارزیابی اثر ژنوتیپ در محیط، تعداد ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو اقلیم معتدل (جدول ۱) به‌مدت دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱) در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در سه ایستگاه تحقیقاتی شامل ورامین، بیرجند و یزد مورد ارزیابی قرار گرفتند (۱۲ محیط). آزمایش بدون تنش و تنش خشکی در هر سال به‌صورت مجزا از یکدیگر و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شدند. در شرایط بدون تنش، آبیاری به‌صورت کامل انجام شد و در شرایط تنش خشکی، آبیاری در مرحله ۵۰ درصد سنبله‌دهی قطع گردید. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (جدول ۱) از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته جو ایستگاه‌های اقلیم معتدل کشور در سال قبل و بر اساس صفاتی از جمله عملکرد دانه بالا، تحمل به تنش خشکی، زودرسی، مقاومت به سرما، خوابیدگی، ریزش دانه و بیماری‌های قارچی انتخاب شده بودند.

کاشت در هر ۳ ایستگاه تحقیقاتی با استفاده از دستگاه بذرکار اتریسی وینتراشتاگر ویژه آزمایش‌های غلات در ۶ خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بر روی ۲ پشته و به‌طول ۶ متر و مساحت ۷/۲ متر مربع به‌روش جوی و پشته انجام شد. اراضی مورد نظر در سال قبل آیش بوده و تهیه زمین و کاشت نیز

چهارمین غله مهم در سراسر جهان است (FAO, 2020) که توانایی خوبی از نظر رشد در مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک دارد. افزایش بروز و شدت خشکسالی‌ها همراه با کاهش در دسترس بودن آب، میل به تولید گیاهان زراعی که نیاز آبی کمتری داشته باشند را افزایش داده است (Cassman et al., 2003; Ceccarelli et al., 2010). جو را می‌توان در اقلیم‌های مختلف، از خاک‌های مشکل‌دار تا درجه حرارت‌های بالا، با نیاز به منابع نسبتاً کمتر در مقایسه با سایر غلات، کشت کرد (Kumar et al., 2022). جو به‌ویژه در مقایسه با سایر غلات سازگاری خوبی با شرایط مختلف مانند خشکی و شوری دارد (Newton et al., 2011). چنین خصوصیت مفیدی این گیاه را قادر ساخته تا در مناطقی که سایر غلات از قبیل گندم نمی‌توانند به‌خوبی رشد کنند، تولید داشته باشد. تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۲۰ میلادی حدود ۱۵۷ میلیون تن بوده که از سطح زیر کشت معادل ۵۱۶ میلیون هکتار به‌دست آمده است (FAO, 2020). در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ سطح زیر کشت جو در کشور ۱۶۸۴۰۷۱۴ هکتار بوده که شامل ۷۴۹۰۷۲۶ هکتار کشت آبی و ۹۳۴۹۹۰ هکتار کشت دیم می‌باشد و به‌ترتیب با عملکرد ۳۱۹۵ و ۸۳۶ کیلوگرم در هکتار، مقدار ۲۰۳۹۵۰۱۹۳ و ۷۸۱۰۳۰۹ تن و در مجموع ۳۰۱۷۶۰۵۰۲ تن جو در این سال زراعی تولید شده است (Anonymous, 2023).

افزایش تقاضا برای غلاتی که به مصرف انسان و دام می‌رسند را می‌توان از طریق توسعه کاشت ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برآورده کرد (Fita et al., 2015; Reynolds et al., 2016). به‌دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در سایر محیط‌ها بهترین نباشد و بنابراین، محاسبه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اطلاعات ارزشمندی در خصوص عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارائه داده و نقش مهمی در ارزیابی پایداری عملکرد دارد (Karadavut et al., 2010). برای ارزیابی پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف، روش‌های آماری مختلفی وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به آماره‌های نصار و هان ( $S^{(1-6)}$ ; Nassar and Huhn, 1987)، آماره‌های تنازرو (NP<sup>(1-4)</sup>; Thenarasu, 1995)، انحراف از خط رگرسیون ابرهات و راسل ( $S^d$ ; Eberhart and Russell, 1966)، شیب خط رگرسیون (b; Finlay and Wilkinson, 1963)، واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma^2$ ; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (CV; Francis and Kannenberg, 1978)، میانگین واریانس پلستید و پترسون ( $\theta$ ; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ( $\theta_{(i)}$ ; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک ( $W_i^2$ ; Wricke, 1962)، مجموع رتبه کانگ (KR; Kang, 1988) و تجزیه به مولفه‌های اصلی اشاره نمود. نجفی میرک و همکاران (Najafi-Mirak et al., 2019) از روش‌های ضریب تغییرات محیطی، انحراف معیار رتبه، رتبه‌بندی و روش AMMI به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در گندم دوروم استفاده نمودند. سوقی و همکاران (Soughi et al., 2016) در گزینش ژنوتیپ‌های گندم از روش‌های ناپارامتری و گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری استفاده نمودند و گزارش

براساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه‌های مربوطه در نیمه اول آبان ماه انجام شد و میزان مصرف کود نیز بر اساس آزمون خاک در هر ایستگاه صورت گرفت.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های جو

Table 1. The pedigree of barley genotypes

شجره Pedigree	شماره No.	شجره Pedigree	شماره No.
Bgs/Dajia/L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Alm/Una80//...)/4/Nosrat/5/Rhn-03//L.527/NK1272	G9	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Nik	G1
Triton/Yazd-5//Nik/3/Rhn03	G10	PINON/3/QUINN/ALOE/CARDO/4/CIRU/5/Rhn-03//L.527/NK1272	G2
(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Nosrat/4/Nik/5/Yousef	G11	Legia/Rhn/Lignee 527/3/Yousef	G3
Legia/Rhn/Lignee 527/3/Yousef	G12	Legia/Rhn/Lignee 527/3/Nik	G4
Sahra/4/ Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"	G13	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/ Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"...	G5
Triton/Yazd-5//Nik/3/Rhn03	G14	Beecher/4/Rihane-03/3/As46/Aths*2//Aths/Lignee686	G6
CIRU/TOCTE	G15	Lignee 527/Chn-01//Gusto/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//D171/Strain 205/5/Rihane-03...	G7
LBIRAN/UNA80/LIGNEE640/3/PUNGSANCHAPSSALBORI	G16	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Rihane-03	G8

میزان بذر بر اساس ۳۵۰ دانه در هر مترمربع و توزین بذر لازم برای هر کرت نیز بر اساس وزن هزار دانه هریک از ژنوتیپ‌ها انجام شد. به منظور کنترل علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش توفوردی (یک و نیم لیتر در هکتار) و علف‌های هرز باریک‌برگ از علف‌کش پوماسوپر (یک لیتر در هکتار) استفاده گردید. برای تعیین عملکرد دانه، گیاهان تمام کرت پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت و عملکرد دانه توزین گردید.

تجزیه واریانس مرکب به منظور تعیین اثرات اصلی و متقابل در دو سال آزمایش به صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی خطاهای آزمایش به روش بارتلت به عمل آمد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی ساده با استفاده از برنامه SAS-9.0 انجام گرفت. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل آماره‌های پایداری نصار و هان (S<sup>1-6</sup>; Nassar and Huhn, 1987)؛ آماره‌های پایداری تارزو (NP<sup>1-4</sup>;)؛ انحراف از خط رگرسیون (S<sup>2d</sup>; Thennarasu, 1995)؛ شیب خط رگرسیون (Eberhart and Russell, 1966)؛

تجزیه واریانس مرکب به منظور تعیین اثرات اصلی و متقابل در دو سال آزمایش به صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی خطاهای آزمایش به روش بارتلت به عمل آمد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی ساده با استفاده از برنامه SAS-9.0 انجام گرفت. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل آماره‌های پایداری نصار و هان (S<sup>1-6</sup>; Nassar and Huhn, 1987)؛ آماره‌های پایداری تارزو (NP<sup>1-4</sup>;)؛ انحراف از خط رگرسیون (S<sup>2d</sup>; Thennarasu, 1995)؛ شیب خط رگرسیون (Eberhart and Russell, 1966)؛

تجزیه واریانس مرکب به منظور تعیین اثرات اصلی و متقابل در دو سال آزمایش به صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی خطاهای آزمایش به روش بارتلت به عمل آمد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی ساده با استفاده از برنامه SAS-9.0 انجام گرفت. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل آماره‌های پایداری نصار و هان (S<sup>1-6</sup>; Nassar and Huhn, 1987)؛ آماره‌های پایداری تارزو (NP<sup>1-4</sup>;)؛ انحراف از خط رگرسیون (S<sup>2d</sup>; Thennarasu, 1995)؛ شیب خط رگرسیون (Eberhart and Russell, 1966)؛

(Fischer and Maurer, 1978)	SI= 1- (Ys / Yp)	(۱) شدت تنش
(Fischer and Maurer, 1978)	SSI= (1 - (Ysi / Ypi)) / SI	(۲) شاخص حساسیت به تنش
(Rosielle and Hamblin, 1981)	TOL= Ypi - Ysi	(۳) شاخص تحمل
(Fernandez, 1992)	STI= (Ypi × Ysi) / (Yp) <sup>2</sup>	(۴) شاخص تحمل به تنش
(Rosielle and Hamblin, 1981)	MP= (Ypi + Ysi) / 2	(۵) شاخص میانگین بهره‌وری
(Fernandez, 1992)	GMP= (Ypi × Ysi) <sup>0.5</sup>	(۶) میانگین هندسی بهره‌وری
(Bidinger et al., 1987)	HARM= (2 × (Ypi × Ysi)) / (Ypi + Ysi)	(۷) میانگین هارمونیک بهره‌وری
(Gavuzzi et al., 1997)	YI= Ysi / Ys	(۸) شاخص عملکرد
(Bouslama and Schapaugh, 1984)	YSI= Ysi / Ypi	(۹) شاخص ثبات عملکرد
(Fischer and Wood, 1979)	RSI= (Ysi / Ypi) / (Ys + Yp)	(۱۰) شاخص تنش نسبی

برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر صفت عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند (جدول ۲). با توجه به معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ می‌توان استنباط نمود که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف ژنتیکی قابل توجهی وجود دارد. براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سال اجرا با روش حداقل

نتایج حاصل از آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایش براساس آزمون بارتلت حاکی از یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و قابل انجام بودن تجزیه مرکب بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات ژنوتیپ و همچنین

## نتایج و بحث

در محیط‌های مختلف داشته‌اند و لذا تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر کفایت نمی‌کند و بایستی به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد دانه که به شرایط محیطی مختلف سازگاری داشته باشند، تجزیه پایداری صورت پذیرد.

اختلاف معنی‌دار (LSD)، ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به ترتیب با میانگین‌های ۶۷۳۲/۹، ۶۷۳۰/۶ و ۶۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار از بیشترین و ژنوتیپ‌های G11 و G16 به ترتیب با ۵۷۰۲/۹ و ۵۷۵۹/۳ کیلوگرم در هکتار از کمترین عملکرد دانه برخوردار بودند (جدول ۳). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی عملکرد دانه متفاوتی

جدول ۲- تجزیه مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های جو در سه مکان در دو شرایط نرمال و تنش خشکی طی دو سال زراعی ۲۰۲۱-۲۰۲۰  
Table 2. Combined analysis for yield in barley genotypes in three places in two normal and drought stress conditions for two 2021-03 cropping seasons

میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of Variation
150447971	11	محیط Environment (E)
725833	24	تکرار (محیط) Block (E)
3915323**	15	ژنوتیپ Genotype (G)
1187079**	165	ژنوتیپ × محیط G×E
351507	360	خطای آزمایش Error
9.41	-	ضریب تغییرات Coefficient Variation

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

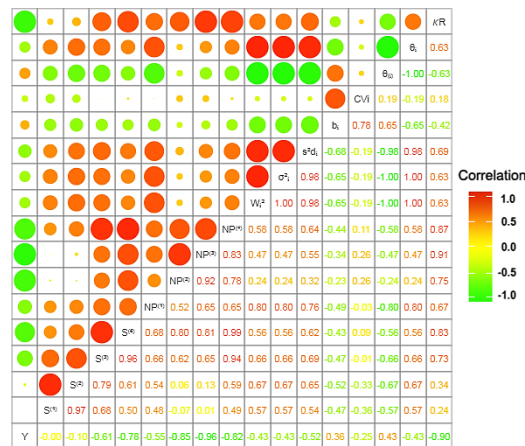
\* and \*\* are significantly different at  $\alpha=0.05$  and  $\alpha=0.01$ , respectively and ns is non-significant

ژنوتیپ‌های G7، G9 و G3 که عملکرد بالایی دارند، از سازگاری عمومی و پایداری عملکرد خوبی برخوردار هستند (جدول ۳). بررسی ضریب تغییرات محیطی فرانسویس و کانبرگ (CVi) نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G2 و G15 از کمترین ضریب تغییرات محیطی برخوردار هستند (جدول ۳). بر اساس آماره کانگ (KR) (Kang, 1988) ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9، براساس واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ( $\theta_{(i)}$ ) ژنوتیپ‌های G3، G9 و G13 و براساس آماره پلستید و پترسون ( $\theta_i$ ) (Plaisted and Peterson, 1959) نیز ژنوتیپ‌های G15، G16 و G12 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی گردیدند (جدول ۳). در مجموع با در نظر گرفتن مجموع رتبه‌بندی (ASR) تمام آماره‌های فوق، میانگین و انحراف معیار رتبه هریک از این آماره‌ها و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های G3، G9، G7، G4 و G10 از بالاترین پایداری عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برخوردار بودند (جدول ۳).

برای بررسی میزان همبستگی بین آماره‌های پایداری مختلف، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید (شکل ۱). در شکل ۱ ضرایب همبستگی به‌صورت دایره کوچک و بزرگ نشان داده شده است که هرچه قدر دایره بزرگتر باشد بیانگر همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی قرمز تا زرد و زرد تا سبز نیز به ترتیب بیانگر ضرایب مثبت و منفی است. بر این اساس، عملکرد دانه با هیچ‌یک از آماره‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری نداشت اما به ترتیب با آماره‌های  $NP^{(3)}$ ،  $NP^{(2)}$ ،  $NP^{(4)}$ ،  $S^{(6)}$  و  $S^{(1)}$  همبستگی منفی و معنی‌داری داشت و بنابراین از این آماره‌ها می‌توان در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمود (شکل ۱). براتی و همکاران (Barati et al., 2021) نیز با ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش جو بیان داشتند که آماره‌های  $S_1^{(3)}$ ،  $S_1^{(6)}$ ،  $NP_1^{(1)}$ ،  $NP_1^{(2)}$ ،  $NP_1^{(3)}$  و  $NP_1^{(4)}$  از همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه برخوردار هستند. بر اساس گزارش آرمجو و نیکخواه (Arazmjoo and Nikkhah, 2022) نیز

بر اساس آماره‌های پایداری نصار و هان ( $S^{(1-6)}$ ) Nassar (and Huhn, 1987) ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار، ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر این اساس، از نظر آماره‌های  $S^{(1-2)}$  ژنوتیپ‌های G10، G11، G7 و G3 با کمترین مقدار به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G6 و G15 با بیشترین مقدار، به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند (جدول ۳). همچنین بر اساس آماره‌های  $S^{(3-6)}$  ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). با بررسی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها می‌توان دریافت که در مجموع، آماره‌های پایداری نصار و هان توانسته‌اند ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 با عملکرد بالا را پایدار شناسایی کنند (جدول ۳). آرمجو و نیکخواه (Arazmjoo and Nikkhah, 2022) نیز در بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو گزارش دادند که آماره‌های پایداری نصار و هان به‌خوبی ژنوتیپ‌های با عملکرد زیاد و پایدار را شناسایی نمودند. بر اساس آماره‌های پایداری پیشنهاد شده توسط تنارزو (Thennarasu, 1995) شامل  $NP^{(1)}$ ،  $NP^{(2)}$ ،  $NP^{(3)}$  و  $NP^{(4)}$  ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار ژنوتیپ‌های پایدار به حساب می‌آیند. با توجه به معیار ناپارامتری  $NP^{(1)}$  ژنوتیپ‌های G3، G9 و G5 با توجه به معیار  $NP^{(2)}$  ژنوتیپ‌های G3، G5 و G8 و با توجه به معیارهای  $NP^{(3)}$  و  $NP^{(4)}$  نیز ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۳). براساس آماره‌های پایداری اکووالانس ریک ( $W^2$ ) و شوکلا ( $\sigma^2$ ) ژنوتیپ‌های G3، G9 و G13 پایدارترین و ژنوتیپ‌های G15، G16 و G12 نیز ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). استفاده از ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل (b) و انحراف از خط رگرسیون ( $S^2d$ ) معمولاً به‌طور همزمان با یکدیگر در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شوند به‌طوری‌که اگر شیب خط رگرسیون ژنوتیپی با یک اختلاف معنی‌داری نداشته باشد و از طرفی دارای کمترین انحراف از خط رگرسیون باشد، آن ژنوتیپ پایدار است (Eberhart and Russell, 1966). براساس روش رگرسیونی ابرهارت و راسل مشخص گردید که

عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری با آماره‌های KR، NP<sup>(3)</sup> و NP<sup>(2)</sup> داشته است.



شکل ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری در ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش جو  
Figure 1. Correlation coefficients between grain yield and parametric and non-parametric stability statistics in the 16 promising barley genotypes

به تنش (STI) که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده متحمل‌تر بودن می‌باشد، ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G11، G16 و G14 نیز حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند (جدول ۴). بر اساس شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص تنش نسبی (RSI) که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های G1، G16 و G5 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G11، G14 و G6 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند (جدول ۴). از نظر شاخص عملکرد (YI) که مقادیر عددی بالای آن حاکی از متحمل‌تر بودن می‌باشد، ژنوتیپ‌های G7، G3 و G2 متحمل‌ترین و G11، G14 و G16 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند (جدول ۴). در مجموع و بر اساس میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها (AR) ژنوتیپ‌های G7، G2 و G3 به‌ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و G11، G14 و G10 نیز به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناسایی گردیدند (جدول ۴). نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در دو محیط در شکل ۲ ارائه شده است.

مقادیر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل (Ys)، شرایط بدون تنش (Yp) و شاخص‌های ارزیابی تنش در ژنوتیپ‌های مورد بررسی طی دو سال در جدول ۴ ارائه شده است. بر مبنای شاخص شاخص تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) که مقادیر عددی پائین آن‌ها حاکی از تحمل بالاتر نسبت به تنش می‌باشد، ژنوتیپ‌های G1، G16 و G5 به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر بوده و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند و در مقابل نیز ژنوتیپ‌های G6، G11 و G14 نیز براساس شاخص‌های مذکور با داشتن بیشترین مقادیر، حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند (جدول ۴). شاخص SSI قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به تنش از ژنوتیپ‌هایی که به‌طور کلی پتانسیل عملکرد پائینی دارند، نیست (Clarke *et al.*, 1992) که این مورد را می‌توان در ژنوتیپ G16 مشاهده نمود و از طرفی شاخص TOL نیز ژنوتیپ‌هایی را با عملکرد پائین در شرایط مطلوب و عملکرد بالا در شرایط تنش را انتخاب می‌نماید (Fernandez, 1992) که این مورد نیز در ژنوتیپ G1 تا حدودی صدق می‌نماید. با توجه به شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش جو

Table 3. Average grain yield (Kg/ha) and parametric and non-parametric stability statistics of the 16 elite barley genotypes

انحراف معیار SD	مجموع رتبه‌ها AR	مجموع رتبه کانگ KR	میانگین واریانس‌ها $\theta_i$	واریانس ژنوتیپ و محیط $\theta_{(i)}$	ضریب تغییرات محیطی CVi	ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل $b_i$	انحراف از خط رگرسیون $s^2_{di}$	واریانس پایداری شوکلا $\sigma^2_i$	اکووالانس ریک $W_i^2$	آماره‌های پایداری تنازرو Thennarasu's stability statistics				آماره‌های پایداری نصار و هان Nassar and Huehn's stability statistics				عملکرد دانه Grain yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	ژنوتیپ Genotype
										NP <sup>(4)</sup>	NP <sup>(3)</sup>	NP <sup>(2)</sup>	NP <sup>(1)</sup>	S <sup>(6)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(1)</sup>		
2.61	7.81	16	355046	403519	25.48	0.87	335445	278309	2950761	0.59	0.50	0.46	3.33	4.98	23.22	17.24	4.79	6295.9	G1
3.40	7.94	15	390298	398483	23.16	0.81	344707	353850	3677845	0.56	0.44	0.40	3.50	4.55	23.86	20.97	5.42	6502.9	G2
3.52	2.88	3	289697	412854	28.41	1.06	210905	138275	1602935	0.30	0.30	0.27	2.75	2.58	11.97	13.24	3.61	6732.9	G3
2.85	7.13	12	330479	407028	29.58	1.05	336104	225665	2444069	0.53	0.42	0.35	3.58	4.60	22.60	20.55	5.27	6484.9	G4
3.60	7.94	22	397639	397434	33.16	1.14	456522	369581	3829256	0.53	0.51	0.32	3.17	4.00	20.15	15.11	4.41	6277.7	G5
3.02	10.75	17	372563	401016	33.84	1.18	304639	315845	3312051	0.69	0.55	0.53	3.83	5.76	29.85	22.39	5.65	6335.1	G6
4.16	5.44	9	362416	402466	32.86	1.24	170475	294103	3102783	0.33	0.41	0.40	4.25	2.94	10.91	11.66	3.89	6730.6	G7
2.57	7.94	15	374301	400768	28.34	0.99	477848	319571	3347910	0.54	0.46	0.34	3.83	4.55	22.48	20.27	5.35	6487.5	G8
3.66	3.75	4	277425	414607	27.76	1.02	191341	111978	1349832	0.40	0.33	0.40	3.08	3.21	13.82	13.72	4.35	6608.1	G9
3.96	7.13	16	326847	407547	32.15	1.07	311860	2369157	0.54	0.66	0.57	3.67	4.30	15.10	9.15	3.58	6071.1	G10	
4.73	10.44	28	423313	393766	31.10	0.94	604145	424595	4358768	0.64	1.05	1.31	4.08	5.02	15.47	6.45	2.92	5702.9	G11
3.61	9.31	18	440232	391349	28.54	0.98	670853	460852	4707736	0.56	0.55	0.49	3.58	4.72	22.88	17.33	4.67	6505.3	G12
3.48	7.50	11	320230	408492	29.02	1.03	314797	203705	2232696	0.58	0.47	0.37	3.58	4.80	24.18	20.15	5.33	6465.0	G13
3.12	12.50	27	439563	391445	34.50	1.08	635475	459418	4693938	0.97	0.94	1.42	3.67	8.55	46.28	20.33	4.70	5862.5	G14
4.62	13.38	29	997315	311766	26.34	0.66	1757240	16197563	0.89	0.82	0.67	5.67	7.65	47.57	33.15	6.79	6001.1	G15	
3.75	13.75	30	459836	388549	29.19	0.88	655509	502859	5112059	0.98	1.06	1.80	5.08	9.25	46.63	22.61	5.24	5759.3	G16
																		274.8	LSD
																		0.05	

GY: عملکرد دانه، S<sup>(1-6)</sup>: آماره‌های پایداری نصار و هان، NP<sup>(1-4)</sup>: آماره‌های پایداری تنازرو، W<sup>2</sup>: اکووالانس ریک،  $\sigma^2_i$ : واریانس پایداری شوکلا، b<sub>i</sub>: ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل، S<sup>2</sup><sub>di</sub>: انحراف از خط رگرسیون، CV<sub>i</sub>: ضریب تغییرات محیطی فرانسس و کانترگ،  $\theta_{(i)}$ : واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط،  $\theta_i$ : میانگین واریانس‌ها، آماره پلستید و پترسون و KR: مجموع رتبه کانگ، AR: مجموع رتبه‌ها، SD: انحراف معیار،

GY, grain yield; S<sup>(1-6)</sup>, Nassar and Huehn's and Huehn's stability statistics; NP<sup>(1-4)</sup>, Thennarasu's stability statistics; W<sup>2</sup>, Wricke's ecovalence;  $\sigma^2_i$ , Shukla's stability variance; b<sub>i</sub>, regression coefficient; S<sup>2</sup><sub>di</sub>, deviation from regression; CV, coefficient of variance;  $\theta_{(i)}$ , GE variance component;  $\theta_i$ , mean variance component, Plaisted and Peterson; KR, Kang's sum of ranks; SR, Sum of ranks; ASR, Average of sum of ranks, and SD, Standard deviation

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و رتبه‌بندی آن‌ها در ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش جو

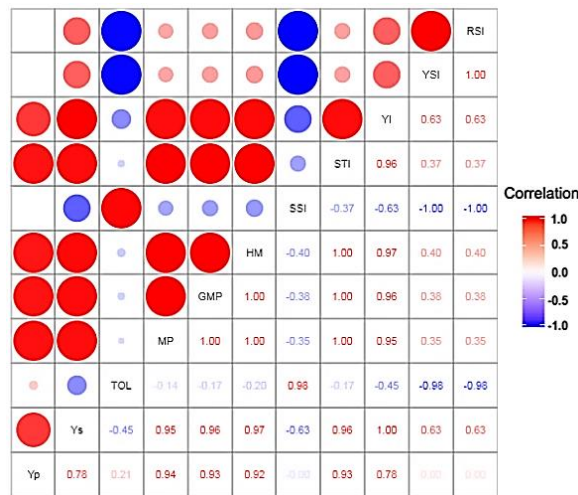
Table 4. Average grain yield (Kg/ha) and tolerance and susceptibility indices and their ranking of the 16 elite barley genotypes

انحراف معیار ژنوتیپ در کل Standard deviation of rank (SD)	میانگین رتبه هر شاخص در کل Average of rank (AR)	شاخص تنش نسبی Relative stress index		شاخص ثبات عملکرد Yield stability index		شاخص عملکرد Yield index		شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index		شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index		میانگین هارمونیک Harmonic mean		میانگین هندسی Geometric mean productivity		شاخص میانگین بهره‌وری Mean productivity		شاخص تحمل Tolerance index		درصد کاهش عملکرد Yield reduction (%)		عملکرد دانه در تنش Grain yield in drought stress		عملکرد دانه بدون تنش Grain yield in Non-stress		ژنوتیپ Geno type
		R	RSI	R	YSI	R	YI	R	STI	R	SSI	R	HM	R	GMP	R	MP	R	TOL	R	Ys	R	Yp			
4.29	6.18	1	1.06	1	0.90	7	1.03	10	0.85	1	0.65	9	6279.5	10	6287.7	10	6295.9	1	643.6	9.73	7	5974.1	11	6617.7	G1	
1.35	4.27	4	1.03	4	0.88	3	1.05	4	0.91	4	0.82	4	6475.3	4	6489.1	5	6502.9	4	846.5	12.22	3	6079.6	8	6926.1	G2	
4.20	4.73	10	1.00	10	0.85	2	1.07	2	0.97	10	0.98	2	6691.6	2	6712.2	1	6732.9	10	1054.2	14.52	2	6205.8	1	7260.0	G3	
1.38	5.91	6	1.03	6	0.88	4	1.04	6	0.90	6	0.84	6	6456.3	6	6470.6	7	6484.9	5	860.8	12.45	4	6054.5	9	6915.3	G4	
3.84	7.82	3	1.04	3	0.88	10	1.02	11	0.85	3	0.79	11	6253.1	11	6265.5	11	6277.7	3	785.9	11.78	10	5884.7	10	6670.6	G5	
3.18	11.09	14	0.94	14	0.80	11	0.97	9	0.86	14	1.35	10	6256.5	9	6295.7	9	6335.2	16	1412.1	20.05	11	5629.1	5	7041.2	G6	
2.04	2.82	5	1.03	5	0.88	1	1.09	1	0.97	5	0.83	1	6701.6	1	6716.1	2	6730.6	6	883.2	12.31	1	6289.0	3	7172.2	G7	
2.54	8.55	11	0.99	11	0.84	9	1.02	7	0.90	11	1.08	7	6437.7	7	6462.6	6	6487.5	12	1136.8	16.11	9	5919.1	4	7055.9	G8	
4.85	7.09	13	0.98	13	0.83	6	1.04	3	0.93	13	1.13	3	6552.5	3	6580.2	3	6608.1	13	1212.6	16.81	6	6001.8	2	7214.4	G9	
0.54	12.09	12	0.98	12	0.84	13	0.95	12	0.79	12	1.11	12	6022.4	12	6046.7	12	6071.1	11	1087.3	16.44	13	5527.4	12	6614.7	G10	
0.40	15.82	16	0.92	16	0.79	16	0.87	16	0.69	16	1.45	16	5620.2	16	5661.3	16	5702.9	15	1373.5	21.50	16	5016.1	15	6389.6	G11	
1.25	5.82	7	1.01	7	0.86	5	1.04	5	0.91	7	0.93	5	6469.0	5	6487.1	4	6505.3	8	970.7	13.89	5	6019.9	6	6990.6	G12	
0.45	8.00	8	1.01	8	0.86	8	1.03	8	0.90	8	0.96	8	6426.7	8	6445.8	8	6465.0	9	995.1	14.29	8	5967.4	7	6962.5	G13	
0.67	14.36	15	0.94	15	0.80	15	0.90	14	0.73	15	1.36	14	5788.8	14	5825.5	14	5862.6	14	1315.5	20.18	15	5204.8	13	6520.3	G14	
2.33	11.27	9	1.01	9	0.86	12	0.96	13	0.77	9	0.96	13	5965.4	13	5983.2	13	6001.1	7	926.0	14.33	12	5538.1	14	6464.1	G15	
6.51	10.18	2	1.04	2	0.89	14	0.93	15	0.71	2	0.75	15	5739.1	15	5749.2	15	5759.3	2	682.8	11.19	14	5417.9	16	6100.7	G16	

Yp: عملکرد بدون تنش، Ys: عملکرد تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص ثبات عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی، AR: میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها، SD: انحراف معیار رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها، R: رتبه.

Yp: grain yield under control condition, Ys: grain yield under drought stress condition, TOL: tolerance index, MP: mean productivity, GMP: geometric mean productivity, HM: harmonic mean, SSI: stress susceptibility index, YI: yield index, YSI: yield stability index, RSI: relative stress index, AR: Average of Rank, SD: Standard Deviation of Rank, R: rank.

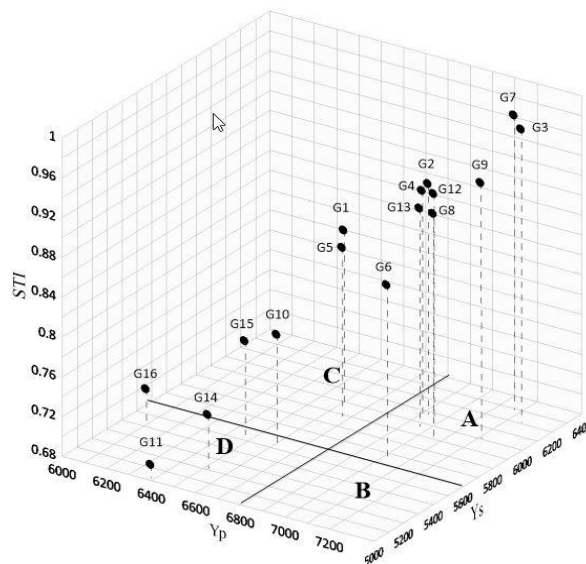




شکل ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مختلف تنش با عملکرد دانه در دو شرایط  
Figure 2. Correlation between different stress indices with grain yield under two conditions

عملکرد دانه با شاخص‌های RSI، YSI، TOL، SSI و همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۲). از این رو برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطقی که بیشتر با خشکی انتهایی فصل روبه‌رو هستند می‌توان به ترتیب از شاخص‌های YI، HM، GMP، STI، MP، YSI و RSI برای انتخاب آن‌ها در مناطقی که با خشکی انتهایی فصل مواجه نیستند از شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI استفاده نمود. نتایج صارمی و همکاران (Saremi et al., 2022) نیز ضمن بررسی ۱۲۱ ژنوتیپ جو گزارش نمودند که شاخص‌های STI، MP، HM و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبی داشته و بنابراین شاخص‌های مناسبی برای گزینش ارقام پر محصول در این شرایط هستند. پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو از نظر عملکرد دانه در محیط‌های بدون تنش و تنش خشکی انتهایی فصل و همچنین شاخص STI در شکل ۳ نمایش داده شده است.

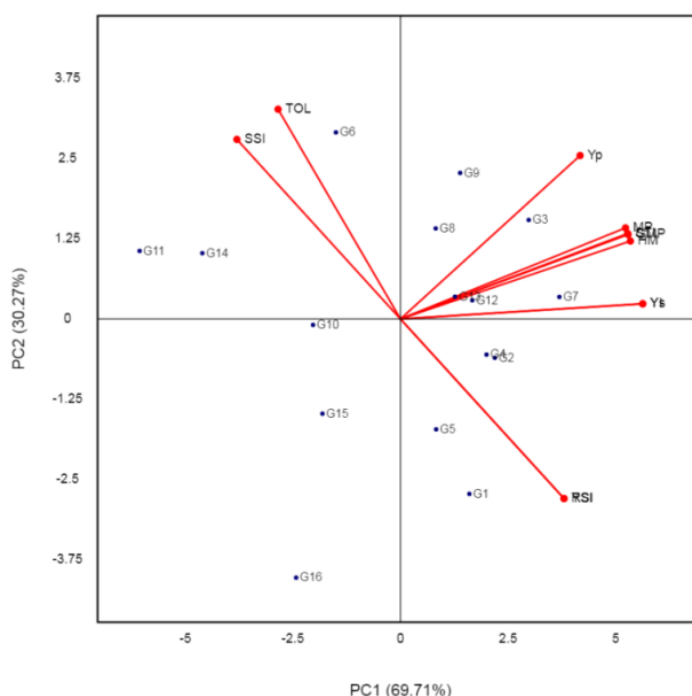
در این شکل ضرایب همبستگی به صورت دایره کوچک و بزرگ نشان داده شده است که هر چه قطر دایره بزرگتر باشد بیانگر همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی سفید تا قرمز و آبی تا سفید نیز به ترتیب بیانگر ضرایب مثبت و منفی است. بر این اساس بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (شکل ۲) و به عبارتی ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد دانه بالاتری در شرایط بدون تنش خشکی بوده‌اند، در شرایط تنش خشکی نیز از عملکرد خوبی برخوردار بوده‌اند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل (Ys) عملکرد دانه به ترتیب با شاخص‌های YI، HM، GMP، STI، MP، YSI و RSI همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص SSI نیز همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (شکل ۲). در شرایط بدون تنش (Yp) نیز عملکرد دانه به ترتیب شاخص‌های GMP، MP، STI و HM همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت اما بین



شکل ۳- نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی (Ys) و شاخص STI طی دو سال  
Figure 3. 3D graph of grain yield of barley elite genotypes under no stress (Yp), drought stress (Ys) and STI index for two years

و G16 نیز در گروه D قرار گرفتند و از طرفی هیچ‌یک از این ژنوتیپ‌ها در گروه B قرار نگرفتند (شکل ۳).  
تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به دلیل مقایسه همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس تمامی صفات، گزینه مناسب‌تری در مقایسه با تحلیل همبستگی ساده به‌منظور انتخاب و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای محیط‌های دارای تنش و بدون تنش است. شکل ۴ نمودار بای‌پلات PC1 در مقابل PC2 روابط بین میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی و شاخص‌های تنش را نشان می‌دهد.

در این شکل آن گروه از ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد دانه بالایی داشته باشند در گروه A، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش از عملکرد دانه بالایی برخوردار باشند در گروه B، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط خشکی عملکرد دانه بالایی دارند در گروه C و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط از عملکرد دانه نسبتاً کمتری برخوردار باشند نیز در گروه D قرار می‌گیرند (Fernandez, 1992); همانگونه که در شکل ۳ نمایش داده شده است، ژنوتیپ‌های G4، G3، G2، G6، G7، G8، G9، G12 و G13 در گروه A، ژنوتیپ‌های G5 و G1 در گروه C و ژنوتیپ‌های G10، G11، G14، G15



شکل ۴- بای‌پلات مولفه اصلی اول در مقابل مولفه اصلی دوم بر اساس عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش جو و شاخص‌های مختلف تنش در ۱۲ محیط

Figure 4. Biplot of PC1 vs. PC2 based on average grain yield of 16 barley elite genotypes and different stress indices in 12 environments

منفی و بالایی نیز با شاخص‌های YSI و RSI داشت (شکل ۴) و بنابراین مولفه دوم بیانگر حساسیت به تنش بوده و هرچه بر مقدار آن افزوده شود، ژنوتیپ‌های با حساسیت بیشتر به تنش خشکی انتخاب می‌گردند. بر اساس نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G3، G7، G8، G9، G12 و G13 از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری برخوردار بوده و نسبت به تنش خشکی متحمل‌ترند (شکل ۴).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ G3 با میانگین عملکرد دانه ۶۷۳۲/۹ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ G7 با میانگین عملکرد دانه ۶۷۳۰/۶ کیلوگرم در هکتار، و ژنوتیپ G9 با میانگین عملکرد دانه ۶۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار، با داشتن بیشترین عملکرد، از بالاترین پایداری عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس مجموع رتبه‌بندی تمام

بر این اساس مولفه اصلی اول ۶۹/۷۱ درصد و مولفه اصلی دوم نیز ۳۰/۲۷ درصد از واریانس متغیرهای اصلی را توجیه کردند (شکل ۴). با توجه به اینکه مولفه اول شامل تغییراتی می‌باشد که توسط مولفه دوم قابل تبیین نیست و برعکس، بنابراین امکان نمایش تغییرات دو مولفه فوق‌الذکر به صورت عمود بر یکدیگر وجود دارد به شکلی که ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس این مولفه‌ها در سطح نمودار به‌صورت نقاطی مشخص شده‌اند (شکل ۴). مولفه اصلی اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین شاخص‌های MP، STI، GMP و HM داشت (۴). در تمامی این شاخص‌ها، مقادیر عددی بالای آن‌ها از مطلوبیت برخوردار است و هرچه مولفه افزایش یابد، ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش انتخاب می‌گردند. مولفه دوم نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در محیط بدون تنش و شاخص‌های TOL و SSI و همچنین همبستگی

تنش خشکی می‌باشد و در مناطق وسیعی از ایران که دارای اقلیم معتدل تا معتدل گرم باشند قابل کشت است. در ژنوتیپ G9 والد مورد استفاده به‌عنوان والد پدری، رقم گوهران با پدیگری Rhn-03/L.527/NK1272 می‌باشد که مهمترین خصوصیت رقم گوهران، تحمل به خشکی آخر فصل آن می‌باشد (Nikkhah *et al.*, 2018).

آماره‌های پایداری مورد مطالعه نیز برخوردار بودند و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان مواد ژنتیکی مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود. ریخته ژنتیکی این لاین‌ها دلیل اصلی تحمل به خشکی در آن‌هاست. رقم یوسف جزو ارقام شاخص متحمل به خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل کشور است و در شجره ژنوتیپ G3 از این رقم استفاده شده است. در شجره G7، رقم ریجان ۰۳ وجود دارد. این رقم زودرس بوده و داری مقاومت به

## References

- Abyar, S., Navabpour, S., Karimizadeh, R., Nasrollahnejad ghomi, A. A., Kiani, G., & Gholizadeh, A. (2021). Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction and grain yield stability of different bread wheat genotypes using non-parametric methods. *Cereal Research*, 11(2), 89-104. <https://doi.org/10.22124/cr.2021.20461.1687>
- Amini, A., Vahabzadeh, M., Majidi, E., Afyouni, D., Tabatabaei, S. M. T., Saberi, M. H., Lotfi, A., & Ravari, S. Z. A. (2010). Grain yield stability and adaptability of bread wheat genotypes using different stability indices under salinity stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, 26(3), 397-411. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111032>
- Anonymous. (2023). Agricultural statistics of 2021-2022 cropping season. Ministry of Agriculture-Jahad, Vol. 1. 95pp (In Persian).
- Arazmjoo, E., & Nikkhah Chamanabad, H. R. (2022). Selecting tolerant barley genotypes to terminal drought stress based on grain yield stability and stress tolerance indices. *Cereal Research*, 11(4), 325-341. <https://doi.org/10.22124/cr.2022.21573.1710>
- Barati, A., Zali, H., Lakzede, I., Koohkan, Sh., Jafary, J., Jabari, M., Hosseinpour, A., Marzoghiyan, A., Gholipour, A., Poodineh, O., & Kheirgom M. (2021). Path analysis of genotype  $\times$  environment interaction and evaluation of grain yield Stability of barley promising lines in warm zones. *Journal of Crop Breeding*, 13(38), 179-192. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/jcb.13.38.179>
- Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V., & Rao, G. D. (1987). Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38, 49-59. <https://doi.org/10.1071/AR9870049>
- Bousslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x>
- Cassman, K., Dobermann, A., Walters, D., & Yang, H. (2003). Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 315. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.040202.122858>
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H., & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *Journal of Agricultural Science*, 148, 627-637. <https://doi.org/10.1017/S0021859610000651>
- Eberhart, S. A. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Eds.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication. Tainan, Taiwan. <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). Adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742>
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
- Fischer, R. A., & Wood, T. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, 1001-1020. <https://doi.org/10.1071/AR9791001>
- Fita, A., Rodriguez-Burruezo, A., Boscaiu, M., Prohens, J., & Vicente, O. (2015). Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*, 6, 978. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>
- Food and Agriculture Organization. (2020). Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved June 15, 2020, from <http://fao.org/crop/statistics>.
- Francis, T. R., & Kannenberg, L. W. (1978). Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, 1029-1034. <https://doi.org/10.4141/cjps78-157>

- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 523-531. <https://doi.org/10.4141/P96-130>
- Kang, M. S. (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16, 113-115. <https://doi.org/23782771>
- Karadavut, U., Palta, C., Kavur Maci, Z., & Block, Y. (2010). Some grain yield parameters of multi-environmental trials in faba bean (*Vicia faba*) genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 217-220.
- Kebede, A., Kang, M. S., & Bekele, E. (2019). Chapter Five - Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley. P. 265-314. In: D. L. Sparks. (Eds.) *Advances in Agronomy*. Salt Lake City: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.008>
- Kumar, D., Sharma, A. K., Narwal, S., Sheoran, S., Verma, R. P. S., Singh, G. P. (2022). Utilization of Grain Physical and Biochemical Traits to Predict Malting Quality of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Sub-Tropical Climate. *Foods*, 11(21), 3403. <https://doi.org/10.3390/foods11213403>
- Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, S., & Ghandi, A. (2019). Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Science*, 21(2), 127-138. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.2.127>
- Nassar, R., & Huhn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, 45-53. <https://doi.org/10.2307/2531947>
- Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., & Ramsay, L., Gia, C. R., Russell, J., Steffenson, B. J., Swartson, J. S., Thomas, W. T. B., Waugh, R., White, P. J., & Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security*, 3, 141-178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>
- Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaie, S. A., & Taheri, M. (2022). Evaluation of Yield Stability and Drought Tolerance of Barley Genotypes in Temperate Regions of the Iran. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 1-17 (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.44.1>
- Nikkhah, H. R., Yiusefi, A., Qazvini, H., Sorkhi, B., Jasemi, S. S., Patpour, M., Taheri, M., Abdi, H., Saberi, H., Tajalli, H., Arazmjoo, M., Mahlooji, M. K., Sharif-Al-Hossaini, M., Attahossaini, S. M., Aghnoom, R., Niazi-fard, A. Sh., Tabatabaie, S. A., Safari, S. A., & Mohammadi, S. (2018). Goharan, A New Terminal Drought Tolerant Barley Cultivar with High Water use Productivity for Cultivation in the Moderate Agro-climate Zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 7(1), 83-95. <https://doi.org/10.22092/rafhc.2018.116849.1111>
- Plaisted, R. I., & Peterson, L. C. (1959). A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *American Journal of Potato Research*, 36, 381-385. <https://doi.org/10.1007/BF02852735>
- Plaisted, R. L. (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *Journal of Potato Research*, 37, 166-172. <https://doi.org/10.1007/BF02855271>
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Pocza, P., & Siddique, K. H. M. (2019a). iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences*, 7(7), e11278. <https://doi.org/10.1002/aps3.11278>
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Pocza, P., & Siddique, K. H. M. (2019b). Stability Soft: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*, 7(1), e1211. <https://doi.org/10.1002/aps3.1211>
- Reynolds, M., & Langridge, P. (2016). Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, 31, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.04.005>
- Rosielle, A. A., & Hambling, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946. DOI: [10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x)
- Saremi, Z., Shahbazi, M., Zeinalabedini, M., Majidi Haravan, E. & Azizinezhad, R. (2022). Evaluation of drought tolerance in barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 14(41), 10-18. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.41.10>
- Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29, 237-245. <https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87>
- Soughi, H. A., Babaeian Jelodar, N. A., Ranjbar, G. A. & Pahlevani, M. H. (2016). Simultaneous Selection Based on Yield and Yield Stability in Bread Wheat Genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 8(18), 119-125 (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.8.18.119>
- Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD Dissertation, PJ School, IARI, New Delhi, India.
- Wricke, G. (1962). Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 47, 92-96.