Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 2, 2024 p: 148-159

OPEN ACCESS

Research paper

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

Ali Barati[1], Elias Arazmjo[2], Seyyed Ali Tabatabaei[3] and Habib Alah Ghazvini[4]

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 × 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 (σ^2_i), environmental variation coefficient (CV), variance component (θ_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 × 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 (σ^2) equivalency stability

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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 $NP^{(3)}$, KR, $NP^{(2)}$, $NP^{(4)}$, $S^{(6)}$, and $S^{(1)}$ 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

[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[۱]، الیاس آرزمجو[۲]، سید علی طباطبائی[۳] و حبیب‌اله قزوینی[۴]

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 مسوول: elias.arazmjo@gmail.com)
۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، 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: ۱۴۰۳/۲/۱۷
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. به‌دلیل 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: به‌منظور 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 ۱۴۰۲-۱۴۰۰ در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل (۱۲ محیط) کشت گردیدند. پس از تعیین عملکرد دانه، شاخص‌های تنش شامل MP، GMP، TOL، HARM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همبستگی هر یک از آن‌ها با عملکرد دانه محاسبه گردید. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل آماره‌های پایداری نصار و هان ($S^{(1-6)}$)، تنارزو ($NP^{(1-4)}$)، انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i)، شیب خط رگرسیون (b)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i)، ضریب تغییرات محیطی (CV)، میانگین واریانس‌ها (θ_i)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$)، اکووالانس ریک (W_i^2) 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 $S^{(1-2)}$ ژنوتیپ‌های G11، G10، G7 و G3 و بر اساس آماره‌های $S^{(3-6)}$ ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در بین معیارهای ناپارامتری تنارزو با توجه به معیار $NP^{(1)}$ 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. بر اساس آماره‌های پایداری اکووالانس ریک (W^2) و شوکلا (σ^2) 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 فرانسیس و کانبرگ (CVi)، ژنوتیپ‌های G2، G1 و G15 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، HM، GMP، STI، MP، YSI و RSI همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص SSI نیز همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. در شرایط بدون تنش نیز عملکرد دانه به‌ترتیب شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت اما بین عملکرد دانه با شاخص‌های SSI، TOL، YSI و 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 MP، STI، GMP و 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 RSI و YSI 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 $NP^{(3)}$، KR، $NP^{(2)}$، $NP^{(4)}$، $S^{(6)}$ و $S^{(1)}$ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت و بنابراین از این آماره‌ها می‌توان در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمود. 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

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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 خاک های 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 ۵۱.۶ میلیون هکتار به‌دست آمده است (FAO, 2020). در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰سطح زیر کشت جو در کشور ۱.۶۸۴.۷۱۴ هکتار بوده که شامل ۷۴۹.۷۲۶ هکتار کشت آبی و ۹۳۴.۹۹۰ هکتار کشت دیم می‌باشد و به‌ترتیب با عملکرد ۳۱۹۵ و ۸۳۶ کیلوگرم در هکتار، مقدار ۲.۳۹۵.۱۹۳ و ۷۸۱.۳۰۹ تن و در مجموع ۳.۱۷۶.۵۰۲ 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 هریک 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 تنارزو ($NP^{(1-4)}$; Thennarasu, 1995)، انحراف از خط رگرسیون ابرهارت و راسل (S^2d_i; Eberhart and Russell, 1966)، شیب خط رگرسیون (b; Finlay and Wilkinson, 1963)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (CV; Francis and Kannenberg, 1978)، میانگین واریانس پلستید و پترسون (θ_i; 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 نمودند که بر اساس معیارهای ناپارامتری تنارزو، 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. آبیار 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 $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(3)}$، $NP_i^{(4)}$، 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 (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) 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 اتریشی وینتراشتایگر 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

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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

شماره No.	شجره Pedigree	شماره No.	شجره Pedigree
G1	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/ 4/Nik	G9	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....) /4/Nosrat/5/Rhn-03//L.527/NK1272
G2	PINON/3/QUINN/ALOE//CARDO/4/CIRU/5/ Rhn-03//L.527/NK1272	G10	Triton/Yazd-5//Nik/3/Rhn03
G3	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Yousef	G11	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Nosrat/4/Nik/5/Yousef
G4	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Nik	G12	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Yousef
G5	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/ 4/ Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"…	G13	Sahra/4/ Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G6	Beecher/4/Rihane-03/3/As46/Aths*2//Aths/Lignee686	G14	Triton/Yazd-5//Nik/3/Rhn03
G7	Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205/5/Rihane-03…	G15	CIRU/TOCTE
G8	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/ 4/Rihane-03	G16	LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/3/PUNGSANCHAPSSALBORI

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. به‌منظور کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ 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 به‌منظور تعیین اثرات اصلی و متقابل در دو سال آزمایش به‌صورت 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 به‌روش بارتلت به‌عمل 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 ($S^{(1-6)}$; Nassar and Huhn, 1987)، آماره‌های پایداری تنارزو ($NP^{(1-4)}$; Thennarasu, 1995)، انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i; Eberhart and Russell, 1966)، شیب خط رگرسیون (b; Finaly and Wilkinson, 1963)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی (CV; Francis and Kannenberg, 1978)، میانگین واریانس‌ها (θ_i; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک (W_i^2; Wricke, 1962) و مجموع رتبه کانگ (KR; Kang, 1988) و روابط بین این آماره‌ها براساس همبستگی پیرسون با استفاده از برنامه STABILITYSOFT محاسبه شدند (Pour-Aboughadareh et al., 2019b).

همچنین با استفاده از برنامه iPASTIC شاخص‌های تنش شامل MP، GMP، TOL، HARM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همبستگی هریک از این شاخص‌ها با عملکرد دانه محاسبه (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019a) و نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌ها در محدوده‌های A، B، C و D با استفاده از نرم‌افزار Grapher ترسیم گردید. در روابط زیر، Yp و Ys به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و Ypi و Ysi نیز میانگین عملکرد هریک از آن‌ها در دو شرایط است:

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

نتایج و بحث

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 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 قابل‌توجهی وجود دارد. براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سال اجرا با روش حداقل

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

اختلاف معنی‌دار (LSD)، ژنوتیپ‌های G3، G7 و G9 به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۷۳۲/۹، ۶۷۳۰/۶ و ۶۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار از بیشترین و ژنوتیپ‌های G11 و G16 به‌ترتیب 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 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.

جدول ۲- تجزیه مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های جو در سه مکان در دو شرایط نرمال و تنش خشکی طی دو سال زراعی ۴۰۲-۱۴۰۰
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

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

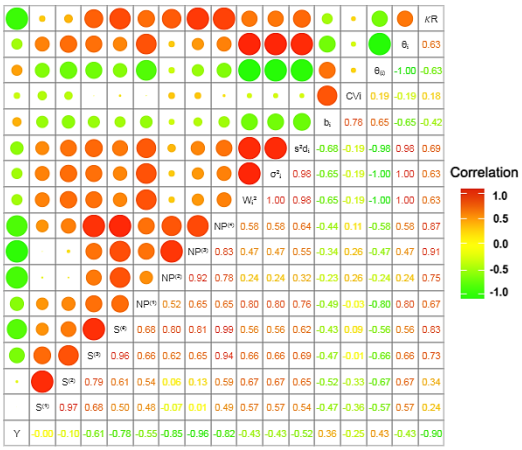
* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می باشد.
* and ** are significantly different at α=0.05 and α=0.01, respectively and ns is non-significant

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 G11، G10، G7 و G3 با کمترین مقدار به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G15 و G6 با بیشترین مقادیر، 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). آرزمجو 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 به‌حساب 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 (σ^2) ژنوتیپ‌های G9، G3 و G13 پایدارترین و ژنوتیپ‌های G15، G16 و G12 نیز ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). استفاده از ضریب رگسیون 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 ژنوتیپ‌های G7، G9 و G3 که عملکرد بالایی دارند، از سازگاری عمومی و پایداری عملکرد خوبی برخوردار هستند (جدول ۳). بررسی ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (CVi) نشان داد که ژنوتیپ‌های G2، G1 و G15 از کمترین ضریب تغییرات محیطی برخوردار هستند (جدول ۳). بر اساس آماره کانگ (KR) (Kang, 1988) ژنوتیپ‌های G3، G9 و G7، براساس واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$) ژنوتیپ‌های G9، G3 و G13 و براساس آماره پلستید و پترسون (θ_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 دوایر کوچک و بزرگ نشان داده شده است که هرچه قدر دوایر بزرگتر باشد بیانگر همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی قرمز تا زرد و زرد تا سبز نیز به‌ترتیب بیانگر ضرایب مثبت و منفی است. بر این اساس، عملکرد دانه با هیچ‌یک از آماره‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری نداشت اما به‌ترتیب با آماره‌های $NP^{(3)}$، KR، $NP^{(4)}$، $NP^{(2)}$، $S^{(6)}$ 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 $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$و $NP_i^{(4)}$ از همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه برخوردار هستند. بر اساس گزارش آرزمجو و نیکخواه (Arazmjoo and Nikkhah, 2022) نیز

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری با آماره‌های KR، $NP^{(3)}$ و $NP^{(2)}$ 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 promoising barley genotypes

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 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 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.

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	آماره‌های پایداری نصار و هان Nassar and Huehn's stability statistics				آماره‌های پایداری تنازرو Thennarasu's stability statistics				اکووالانس ریک W_i^2	واریانس پایداری شوکلا σ^2_i	انحراف از خط رگرسیون s^2d_i	ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل b_i	ضریب تغییرات محیطی CVi	واریانس ژنوتیپ و محیط $\theta_{(i)}$	میانگین واریانس‌ها θ_i	مجموع رتبه کانگ KR	مجموع رتبه‌ها AR	انحراف معیار SD
		$S^{(1)}$	$S^{(2)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	$NP^{(1)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(4)}$										
G1	6295.9	4.79	17.24	23.22	4.98	3.33	0.46	0.50	0.59	2950761	278309	335445	0.87	25.48	403519	355046	16	7.81	2.61
G2	6502.9	5.42	20.97	23.86	4.55	3.50	0.40	0.44	0.56	3677845	353850	344707	0.81	23.16	398483	390298	15	7.94	3.40
G3	6732.9	3.61	13.24	11.97	2.58	2.75	0.27	0.30	0.30	1602935	138275	210905	1.06	28.41	412854	289697	3	2.88	3.52
G4	6484.9	5.27	20.55	22.60	4.60	3.58	0.35	0.42	0.53	2444069	225665	336104	1.05	29.58	407028	330479	12	7.13	2.85
G5	6277.7	4.41	15.11	20.15	4.00	3.17	0.32	0.51	0.53	3829256	369581	456522	1.14	33.16	397434	397639	22	7.94	3.60
G6	6335.1	5.65	22.39	29.85	5.76	3.83	0.53	0.55	0.69	3312051	315845	304639	1.18	33.84	401016	372563	17	10.75	3.02
G7	6730.6	3.89	11.66	10.91	2.94	4.25	0.40	0.41	0.33	3102783	294103	170475	1.24	32.86	402466	362416	9	5.44	4.16
G8	6487.5	5.35	20.27	22.48	4.55	3.83	0.34	0.46	0.54	3347910	319571	477848	0.99	28.34	400768	374301	15	7.94	2.57
G9	6608.1	4.35	13.72	13.82	3.21	3.08	0.40	0.33	0.40	1349832	111978	191341	1.02	27.76	414607	277425	4	3.75	3.66
G10	6071.1	3.58	9.15	15.10	4.30	3.67	0.57	0.66	0.54	2369157	217882	311860	1.07	32.15	407547	326847	16	7.13	3.96
G11	5702.9	2.92	6.45	15.47	5.02	4.08	1.31	1.05	0.64	4358768	424595	604145	0.94	31.10	393766	423313	28	10.44	4.73
G12	6505.3	4.67	17.33	22.88	4.72	3.58	0.49	0.55	0.56	4707736	460852	670853	0.98	28.54	391349	440232	18	9.31	3.61
G13	6465.0	5.33	20.15	24.18	4.80	3.58	0.37	0.47	0.58	2232696	203705	314797	1.03	29.02	408492	320230	11	7.50	3.48
G14	5862.5	4.70	20.33	46.28	8.55	3.67	1.42	0.94	0.97	4693938	459418	635475	1.08	34.50	391445	439563	27	12.50	3.12
G15	6001.1	6.79	33.15	47.57	7.65	5.67	0.67	0.82	0.89	16197563	1654600	1757240	0.66	26.34	311766	997315	29	13.38	4.62
G16	5759.3	5.24	22.61	46.63	9.25	5.08	1.80	1.06	0.98	5112059	502859	655509	0.88	29.19	388549	459836	30	13.75	3.75
LSD 0.05	274.8																		

GY: عملکرد دانه، $S^{(1-6)}$: آماره‌های پایداری نصار و هان، $NP^{(1-4)}$: آماره‌های پایداری تنازرو، W_i^2: اکووالانس ریک، σ^2_i: واریانس پایداری شوکلا، b_i: ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل، S^2d_i: انحراف از خط رگرسیون، CVi: ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ، $\theta_{(i)}$: واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، θ_i: میانگین واریانس‌ها، آماره پلستید و پترسون و KR: مجموع رتبه کانگ، AR: مجموع رتبه‌ها، SD: انحراف معیار،

GY, grain yield; $S^{(1-6)}$, Nassar and Huehn's and Huehn's stability statistics; $NP^{(1-4)}$, Thennarasu's stability statistics; W_i^2, Wricke's ecovalence; σ^2_i, Shukla's stability variance; bi, regression coefficient; S^2d_i, deviation from regression; CV, coefficient of variance; $\theta_{(i)}$, GE variance component; θ_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

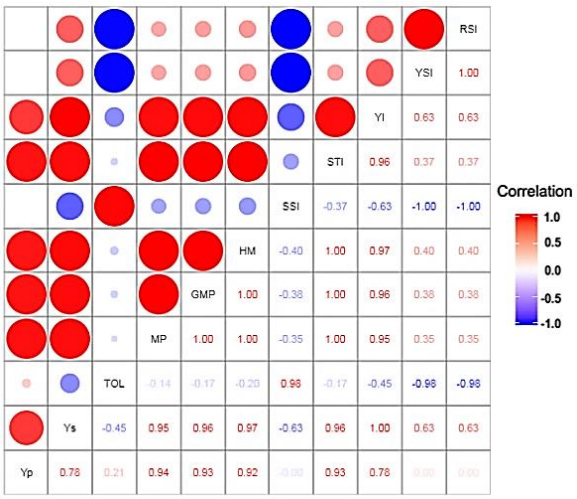
Table 4. Average grain yield (Kg/ha) and tolerance and susceptibility indices and their ranking of the 16 elite barley genotypes

ژنوتیپ Geno type	عملکرد دانه بدون تنش Grain yield in Non-stress		عملکرد دانه در تنش Grain yield in drought stress		درصد کاهش عملکرد Yield reduction (%)	شاخص تحمل Tolerance index		شاخص میانگین بهره‌وری Mean productivity		میانگین هندسی بهره‌وری Geometric mean productivity		میانگین هارمونیک بهره‌وری Harmonic mean		شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index		شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index		شاخص عملکرد Yield index		شاخص ثبات عملکرد Yield stability index		شاخص تنش نسبی Relative stress index		میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها Average of rank (AR)	انحراف معیار رتبه ژنوتیپ در کل شاخص‌ها Standard deviation of rank (SD)
	Yp	R.	Ys	R.		TOL	R.	MP	R.	GMP	R.	HM	R.	SSI	R.	STI	R.	YI	R.	YSI	R.	RSI	R.		
G1	6617.7	11	5974.1	7	9.73	643.6	1	6295.9	10	6287.7	10	6279.5	9	0.65	1	0.85	10	1.03	7	0.90	1	1.06	1	6.18	4.29
G2	6926.1	8	6079.6	3	12.22	846.5	4	6502.9	5	6489.1	4	6475.3	4	0.82	4	0.91	4	1.05	3	0.88	4	1.03	4	4.27	1.35
G3	7260.0	1	6205.8	2	14.52	1054.2	10	6732.9	1	6712.2	2	6691.6	2	0.98	10	0.97	2	1.07	2	0.85	10	1.00	10	4.73	4.20
G4	6915.3	9	6054.5	4	12.45	860.8	5	6484.9	7	6470.6	6	6456.3	6	0.84	6	0.90	6	1.04	4	0.88	6	1.03	6	5.91	1.38
G5	6670.6	10	5884.7	10	11.78	785.9	3	6277.7	11	6265.3	11	6253.1	11	0.79	3	0.85	11	1.02	10	0.88	3	1.04	3	7.82	3.84
G6	7041.2	5	5629.1	11	20.05	1412.1	16	6335.2	9	6295.7	9	6256.5	10	1.35	14	0.86	9	0.97	11	0.80	14	0.94	14	11.09	3.18
G7	7172.2	3	6289.0	1	12.31	883.2	6	6730.6	2	6716.1	1	6701.6	1	0.83	5	0.97	1	1.09	1	0.88	5	1.03	5	2.82	2.04
G8	7055.9	4	5919.1	9	16.11	1136.8	12	6487.5	6	6462.6	7	6437.7	7	1.08	11	0.90	7	1.02	9	0.84	11	0.99	11	8.55	2.54
G9	7214.4	2	6001.8	6	16.81	1212.6	13	6608.1	3	6580.2	3	6552.5	3	1.13	13	0.93	3	1.04	6	0.83	13	0.98	13	7.09	4.85
G10	6614.7	12	5527.4	13	16.44	1087.3	11	6071.1	12	6046.7	12	6022.4	12	1.11	12	0.79	12	0.95	13	0.84	12	0.98	12	12.09	0.54
G11	6389.6	15	5016.1	16	21.50	1373.5	15	5702.9	16	5661.3	16	5620.2	16	1.45	16	0.69	16	0.87	16	0.79	16	0.92	16	15.82	0.40
G12	6990.6	6	6019.9	5	13.89	970.7	8	6505.3	4	6487.1	5	6469.0	5	0.93	7	0.91	5	1.04	5	0.86	7	1.01	7	5.82	1.25
G13	6962.5	7	5967.4	8	14.29	995.1	9	6465.0	8	6445.8	8	6426.7	8	0.96	8	0.90	8	1.03	8	0.86	8	1.01	8	8.00	0.45
G14	6520.3	13	5204.8	15	20.18	1315.5	14	5862.6	14	5825.5	14	5788.8	14	1.36	15	0.73	14	0.90	15	0.80	15	0.94	15	14.36	0.67
G15	6464.1	14	5538.1	12	14.33	926.0	7	6001.1	13	5983.2	13	5965.4	13	0.96	9	0.77	13	0.96	12	0.86	9	1.01	9	11.27	2.33
G16	6100.7	16	5417.9	14	11.19	682.8	2	5759.3	15	5749.2	15	5739.1	15	0.75	2	0.71	15	0.93	14	0.89	2	1.04	2	10.18	6.51

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, STI: stress tolerance index, YI: yield index, YSI: yield stability index, RSI: relative stress index, AR: Average of Rank, SD: Standard Deviation of Rank, R: rank.

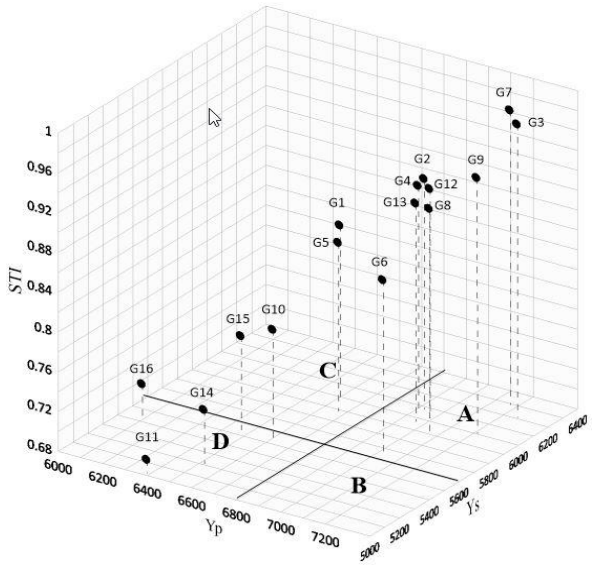
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]



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

در این شکل ضرایب همبستگی به‌صورت دوایر کوچک و بزرگ نشان داده شده است که هر چه قطر دوایر بزرگتر باشد بیانگر همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی سفید تا قرمز و آبی تا سفید نیز به‌ترتیب 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 به‌عبارتی 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 انتهای فصل (Ys) عملکرد دانه به‌ترتیب 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 به‌ترتیب شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت اما بین عملکرد دانه با شاخص‌های SSI، TOL، YSI و RSI همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۲). از این‌رو برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطقی که بیشتر با خشکی انتهای فصل روبه‌رو هستند می‌توان به‌ترتیب از شاخص‌های YI، HM، GMP، STI، MP، YSI و RSI و برای انتخاب آن‌ها در مناطقی که با خشکی انتهای 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 انتهای فصل و همچنین شاخص STI در شکل ۳ نمایش داده شده است.

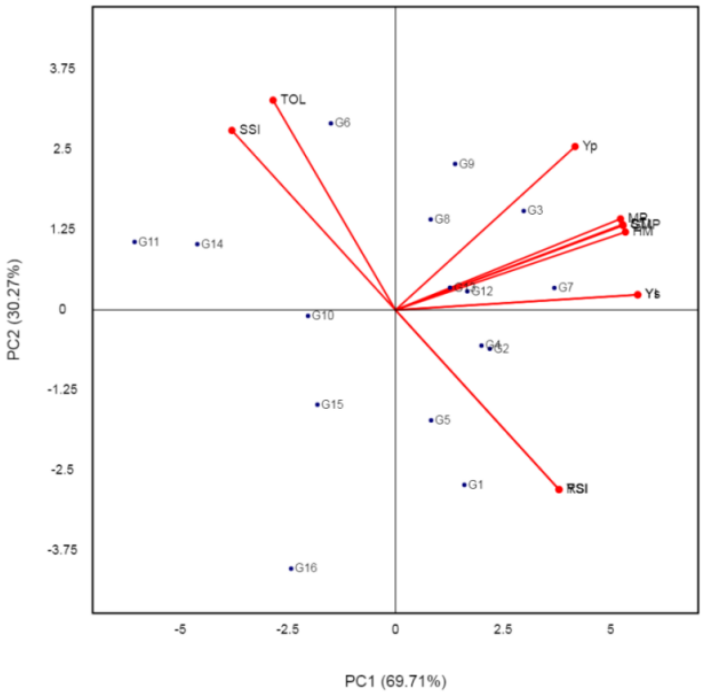


شکل ۳- نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی (Ys) و شاخص STI طی دو سال
Figure 3. 3D graph of grain yield of barley elite genotypes under no stress (Yp), drought stress (Ys) and STI index for two years

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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 تنش 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 G2، G3، G4، G6، G7، G8، G9، G12 و G13 در گروه A، ژنوتیپ‌های G1 و G5 در گروه C و ژنوتیپ‌های G10، G11، G14، G15 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) به‌دلیل 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.



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

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 منفی و بالایی نیز با شاخص‌های RSI و YSI 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

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

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 ریحان ۰۳ وجود دارد. این رقم زودرس بوده و داری مقاومت به 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).

References

Abyar, S., Navabpour, S., Karimizadeh, R., Nasrollahnejad ghomi, A. A., Kiani, G., & Gholizadeh, A. (2021). Evaluation of genotype × environment interaction and grain yield stability of different bread wheat genotypes using non-parametric methods. *Cereal Research*, 11(2), 89-104. 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., Lakzedeh, I., Koohkan, Sh., Jafary, J., Jabari, M., Hosseinpour, A., Marzoghiyan, A., Gholipour, A., Poodineh, O., & Kheirgom M. (2021). Path analysis of genotype× 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

Bouslama, 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

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, 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 multienvironmental 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., Attahossaaini, S. M., Aghnoom, R., Niaziefard, 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., Poczai, 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., Poczai, 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

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.

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.148]