"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) برای عملکرد دانه، پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی انتهای فصل در شرایط اقلیم معتدل ایران

Selection of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for grain yield, yield stability and tolerance to terminal season drought stress under temperate climatic conditions of Iran

علی براتی[۱]، الیاس آرزم‌جو[۲*]، سیدعلی طباطبائی[۳] و جواد حسن‌پور[۴]

چکیده

براتی، ع.، ا. آرزم‌جو، س.ع. طباطبائی و ج. حسن‌پور. ۱۴۰۳. گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) برای عملکرد دانه، پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی انتهای فصل در شرایط اقلیم معتدل ایران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۳): ۴۰۵ -۳۹۰.**

تنش خشکی از شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی در بسیاری از نقاط جهان در شرایط تغییرات اقلیمی کنونی به شمار می‌رود و از این‌رو یکی از اهداف مهم برنامه های به‌نژادی گیاهان زراعی، تولید ارقام با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی است. ارزیابی تنوع ژنتیکی و ارزیابی اثر تنش خشکی در جو و غربالگری منابع ژرم‌پلاسم برای تحمل به تنش خشکی و پایداری عملکرد دانه، پیش نیاز توسعه ارقام جدید و سازگارتر این محصول است. در این پژوهش، ۱۸ ژنوتیپ امیدبخش حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو در اقلیم معتدل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲) در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در سه ایستگاه تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد (مجموعاً ۱۲ محیط) مورد ارزیابی قرار گرفتند. پایداری عملکرد دانه با استفاده از آماره‌های پارامتری و ناپارامتری و ضرایب همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه و همچنین شاخص‌های ارزیابی تنش و تجزیه بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ عملکرد دانه بالاتری در شرایط تنش خشکی انتهای فصل داشتند. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۲ و ۷ با داشتن کمترین مقدار میانگین رتبه آماره‌های پایداری و انحراف معیار رتبه‌ها و عملکرد بالاتر از میانگین کل، به‌ترتیب بالاترین پایداری عملکرد دانه را دارا بودند. بر اساس میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌های تنش خشکی نیز ژنوتیپ‌های ۷، ۲ و ۱ به‌ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۱۷ نیز به ترتیب به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند. ژنوتیپ ۷ با شجره Yousef/3/Legia//Rhn/Lignee 527 و میانگین عملکرد ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و ژنوتیپ ۲ با شجره Assala'S'//Avt/Aths/3/Arinar/Aths//D529/4/Yousef و میانگین عملکرد ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار، به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار برای کشت در مناطق متأثر از تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل کشور شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: آماره‌های پارامتری و ناپارامتری، تجزیه بای‌پلات، جو، شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۰۱۰۸۵۳-۱۲۸-۰۳۱۳-۰۳-۰۳ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می باشد

۱- دانشیار 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 (مکاتبه کننده، 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- استادیار بخش تحقیقات نظام‌های نوین زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

Selection of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for grain yield, yield stability and tolerance to terminal season drought stress under temperate climatic conditions of Iran

Barati, A.[1], Arazmjoo, E.[2], Tabatabaei, S.A.[3] and Hasanpour, J.[4]

ABSTRACT

Barati, A., Arazmjoo, E., Tabatabaei, S.A. and Hasanpour, J. 2025. Selection barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for grain yield, yield stability and tolerance to terminal season drought stress under temperate climatic conditions of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 390-405. (In Persian).**

Introduction: Drought is one of the abiotic stresses in many parts of the world, and it is one of the major limiting factors for crop production under changing climate. Therefore, one of the important goals in crop breeding programs is development of drought-tolerant cultivars adapted to target environments. Evaluation of genetic variation for terminal drought stress tolerance in barley and identification of genotypes with high grain yiled and yiled stability and drought tolerant are prerequisites for developing new adapted barley cultivars (Barati, *et al.*, 2023).

Materials and Methods: In this experiment, 18 genotypes from temperate climate barley breeding program were evaluated using randomized complete block design with three replications, under two conditions of non-stress and terminal drought stress conditions, at three research field stations; Varamin, Birjand, and Yazd (total of 12 environments) in two cropping cycles (2021-22 and 2022-23). Grain yield stability using parametric and nonparametric statistics and their correlation coefficients with grain yield, as well as stress tolerance indices and biplot based on two principal components were evaluated.

Materials and Methods: Results of biplot analysis showed that genotypes No. 1, 2, 3, 4, 5 and 7 had higher grain yield under trminal drought stress conditions. Overall, genotypes No. 3, 2, and 7 with the lowest average rank of stability statistics and standard deviation of rank and higher grain yield than the total mean, had the highest grain yield stability, respectively. Considering the average rank of each genotype for all drought stress indices, genotypes No. 7, 2, and 1 were identified as the most tolerant genotypes, respectively. However, genotypes No. 6, 11, and 17 were identified as the most sensitive genotypes to drought stress, respectively.

Conclusion: In conclusion, genotype No. 7 with pedigree of Yousef/3/Legia//Rhn/Lignee527 with mean grain yield of 6500 kg.ha^{-1} and genotype No. 2 with pedigree of Assala'S'//Avt/Aths/3/Arinar/Aths//D529/4/Yousef with mean grain yield of 6252 kg.ha^{-1} identifioed as high-yielding with yield stability genotypes for being released and grown in terminal drought stress prone areas in temperat climatic conditions of Iran. .

Key words: Barley, Biplot analysis, Drought tolerance indices, Grain yield, Parametric and non-parametric statistics

Received: February, 2025 **Accepted**: **April, 2025**

1. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops 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 Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
4. Assistant Prof., Modern Cropping Systems Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

مقدمه

در میان بسیاری از اثرات تغییرات آب و هوایی که باعث محدود شدن تولیدات کشاورزی می‌شوند، کاهش منابع آب و تغییرات غیرقابل پیش‌بینی خشکسالی، یکی از بزرگترین تهدیدها برای محصولات زراعی است (Shewry and Hey, 2015). یکی از مهم‌ترین وظایف در زمینه بهبود ژنتیکی گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی فزاینده ناشی از گرم شدن کره زمین، اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی است (Poggi *et al.*, 2023). گزارش شده است که اثر خشکسالی بر عملکرد گیاهان زراعی در واکنش به تغییرات آب و هوایی در آینده بیشتر خواهد بود، بنابراین درک بهتر تعاملات بین پتانسیل عملکرد و تحمل تنش خشکی برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی ضروری است. با این وجود، بهبود همزمان این دو صفت چالش بزرگی برای اصلاح گیاهان زراعی است. پیش‌بینی شده است که کل تقاضای جهانی برای غذا در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ از ۳۵ تا ۵۶ درصد افزایش خواهد داشت و در صورتی‌که تغییرات شرایط آب و هوایی نیز در نظر گرفته شود، این میزان ۳۰ تا ۶۲ درصد خواهد بود (van Dijk *et al.*, 2021).

گیاه جو (*Hordeum vulgare*) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از نظر مقدار تولید و سطح زیر کشت جهانی، با بیش از ۷۰ میلیون هکتار، در رتبه چهارم گیاهان غلاتی قرار دارد. برآورد مقدار تولید محصول جهانی جو ۱۴۲/۹ میلیون تن است (USDA, 2025). سطح زیر کشت جو در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در ایران ۱/۷۳۵/۰۹۵ هکتار (۷۷۲/۸۸۳ هکتار آبی و ۹۶۲/۲۱۲ هکتار دیم، به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۳۲۳۰ و ۱۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) و مجموع تولید ۴/۶۰۵/۴۲۰ تن بوده است (Anonymous, 2024).

به‌نژادگران همواره در حال ارزیابی تعداد زیادی از ژنوتیپ‌ها با هدف توسعه ارقام پرمحصول و سازگاری با محیط‌های مختلف هستند. برهمکنش ژنوتیپ و محیط در برنامه‌های به‌نژادی نقش کلیدی دارد، زیرا نشان دهنده تغییرپذیری عملکرد ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف است که این موضوع با اثر اصلی محیط و ژنوتیپ به تنهایی قابل شناسایی نیستند (Yan *et al.*, 2000). با این وجود، برهمکنش ژنوتیپ و محیط بزرگترین چالش برای به‌نژادگران است و انتخاب ارقام برتر برای عملکرد را پیچیده می‌کند. در نظر گرفتن برهمکنش ژنوتیپ و محیط در برنامه‌های به‌نژادی، باعث افزایش کارایی فرآیندهای انتخاب شده و به شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول به دو صورت عمومی و اختصاصی کمک می‌کند (Vaezi *et al.*, 2019). آزمایش‌های چند محیطی نقش مهمی در تفسیر برهمکنش و محیط و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در مسیر معرفی رقم دارند (Gerrano *et al.*, 2020). در این ارتباط، روش‌های آماری مختلفی توسعه یافته و در آزمایش‌های متعددی از آن‌ها برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه و سازگاری انواع گیاهان زراعی استفاده شده است. این روش‌ها به سه گروه پارامتری، ناپارامتری و گرافیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. از روش‌های پارامتری می‌توان شیب خط رگرسیون (b; Finlay and Wilkinson, 1963)، انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i; Eberhart and Russell, 1966)، میانگین واریانس‌ها (θ_i; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس برهمکنش ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک (W_i^2; Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی (CV; Francis and Kannenberg, 1978) و از روش‌های ناپارامتری می‌توان معیارهای نصار و هان ($S^{(1-6)}$; Nassar and Huhn, 1987)، معیارهای تنارازو ($NP^{(1-4)}$; Thennarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ (KR; Kang, 1988) را نام برد. استفاده از این روش‌ها برای ارزیابی پایداری و انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار در انواع گیاهان زراعی از جمله جو، توسط محققان

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

زیادی انجام شده است. خلیلی و پورابوقداره (Khalili and Pour-Aboughadareh, 2016) ضمن ارزیابی ۴۰ لاین دابل هاپلوئید جو با استفاده از پنج پارامتر پایداری، سه لاین امیدبخش با عملکرد دانه بالاتر و پایدار را برای مناطق نیمه‌خشک ایران شناسایی نمودند. نیکخواه و همکاران (Nikkhah *et al.*, 2022) با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری ۲۰ ژنوتیپ جو را در چهار ایستگاه تحقیقاتی در اقلیم معتدل کشور در شرایط تنش خشکی انتهای فصل مورد ارزیابی قرار داده و کارایی بالاتر معیارهای نصار و هان، تنارازو و کانگ را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گزارش کردند. براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2024) نیز ۱۶ ژنوتیپ جو را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل را در سه مکان مقایسه نموده و سه ژنوتیپ پایدار و پرمحصول را شناسایی نموده و گزارش کردند که عملکرد دانه آنها به‌ترتیب با آماره‌های $NP^{(3)}$، KR، $NP^{(2)}$، $NP^{(4)}$، $S^{(6)}$ و $S^{(1)}$ دارای بیشترین همبستگی بود.

توسعه و گزینش ارقام جدید سازگار با خشکسالی در جو یکی از بهترین راهکارها برای مقابله با تنش خشکی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های امیدبخش جو متحمل به تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل ایران با استفاده از آماره‌های پایداری و شاخص‌های تنش برای معرفی ارقام جدید پرمحصول، سازگار و متحمل به تنش خشکی برای این مناطق اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه و شناسائی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی آخر فصل با استفاده از شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی، در آزمایش حاضر تعداد ۱۸ ژنوتیپ امیدبخش حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو اقلیم معتدل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی ورامین، بیرجند و یزد (مجموعاً ۱۲ محیط) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول‌های ۱ و ۲). ژنوتیپ‌های جو بر اساس عملکرد دانه و سایر صفات زراعی از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ارقام و ژنوتیپ‌های پیشرفته جو ایستگاه‌های اقلیم معتدل کشور در سال قبل گزینش شده بودند. در شرایط بدون تنش، آبیاری به صورت کامل انجام شد و در شرایط تنش، قطع آبیاری در مرحله ظهور ۵۰ درصد سنبله‌ها انجام شد. کاشت بذر ژنوتیپ‌های جو در هر سه ایستگاه با استفاده از دستگاه بذرکار وینتراشتایگر در شش ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و روی دو پشته به طول شش متر در کرت‌هایی به مساحت ۷/۲ مترمربع به روش جوی و پشته انجام شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل آیش بوده و کاشت در نیمه اول آبان انجام شد. میزان مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک هر ایستگاه بود. میزان بذر بر اساس تراکم ۳۵۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. برای 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 شد.

برای تعیین عملکرد دانه، محصول کلیه کرت‌ها پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت و توزین شد. پس از تعیین عملکرد دانه، تجزیه بای‌پلات، محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شامل MP، GMP، TOL، HARM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه با استفاده از برنامه تحت وب iPASTIC (https://manzik.com/ipastic) انجام شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019a). نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو در محدوده‌های A، B، C و D با استفاده از نرم‌افزار Grapher رسم شد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی

Table 1. Pedigrees of barley genotypes

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شجره Pedigree	ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شجره Pedigree
1	Triton/Yazd-5//Nik	10	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Bereke-54
2	Assala'S'//Avt/Aths/3/Arinar/Aths//D529/4/Yousef	11	Behrokh//EDCI-7(Pamir-013/Sonata)
3	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Bereke-54	12	Yousef//EDCI-7(Pamir-013/Sonata)
4	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Rhn-03//L.527/NK1272	13	Lignee527/Chn-01//Gustoe/5/Alanda-01/4/WI2291/3/Api/CM67//L2966-69/6/IPA7
5	Nik/3/Legia//Rhn/Lignee 527	14	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/CARDO/BRS180
6	Kavir/VADA	15	UC1261//UC1116/Rihane
7	Yousef/3/Legia//Rhn/Lignee 527	16	CAPUL/6/Vmorales
8	ICNB-105960/Torkman//Nosrat/3/Rhn-03//L.527/NK1272	17	VMorales/6/ORGE618
9	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Rhn03/4/Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"	18	Avt/Attiki//M-Att-73-337-1/3/Aths/Lignee686/4/M-Att-73-337-1/3/Mari/Aths*2//Avt/Attiki

جدول ۲- محیط‌های اجرای آزمایش

Table 2. Test environments

محیط Environment	مکان Location		آبیاری Irrigation		سال زراعی Year	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع Altitude (m)
1	Birjand	بیرجند	Full Irrigation	آبیاری کامل	2022-2023	32°52 N′3	58°59 E′	1491
2			Full Irrigation	آبیاری کامل	2023-2024			
3			Drought stress	تنش خشکی	2022-2023			
4			Drought stress	تنش خشکی	2023-2024			
5	Varamin	ورامین	Full Irrigation	آبیاری کامل	2022-2023	35°10 N′3	51°44 E′	824
6			Full Irrigation	آبیاری کامل	2023-2024			
7			Drought stress	تنش خشکی	2022-2023			
8			Drought stress	تنش خشکی	2023-2024			
9	Yazd	یزد	Full Irrigation	آبیاری کامل	2022-2023	31°54 N′3	54°16 E′	1237
10			Full Irrigation	آبیاری کامل	2023-2024			
11			Drought stress	تنش خشکی	2022-2023			
12			Drought stress	تنش خشکی	2023-2024			

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

Yp و *Ys* به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها و *Ypi* و *Ysi* نیز میانگین عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند.

برای تعیین اثر اصلی و برهمکنش تیمارها، تجزیه واریانس مرکب در دو سال آزمایش به صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. قبل از تجزیه واریانس، یکنواختی خطاهای آزمایش با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و تجزیه همبستگی با استفاده از نرم افزار SAS-9.0 و محاسبه آماره‌های پایداری شامل شیب خط رگرسیون

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

(b; Finlay and Wilkinson, 1963)، انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i; Eberhart and Russell, 1966)، میانگین واریانس‌ها (θ_i; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ($\theta_{(i)}$; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک (W_i^2; Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی (CV; Francis and Kannenberg, 1978)، آماره‌های ناپارامتری نصار و هان ($S^{(1-6)}$; Nassar and Huhn, 1987)، آماره‌های ناپارامتری تنارازو ($NP^{(1-4)}$; Thennarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ (KR; Kang, 1988) و روابط بین آماره‌ها بر اساس همبستگی پیرسون با استفاده از برنامه تحت وب STABILITYSOFT (https://manzik.com/stabilitysoft) انجام شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019b).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون بارتلت نشان دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش و قابل انجام بودن تجزیه مرکب بود (df=۱۱ و χ^2=۱۶/۳۲). نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های جو تفاوت ژنتیکی وجود دارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های ۷، ۴، ۲ و ۱ به‌ترتیب با میانگین ۶۵۰۰، ۶۳۶۰، ۶۲۵۳ و ۶۲۱۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۳ و ۱۸ نیز به‌ترتیب با ۴۵۶۵، ۴۷۷۶ و ۴۹۷۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مورد ارزیابی متفاوت بود و این موضوع نشان دهنده ضرورت اجرای تجزیه پایداری است.

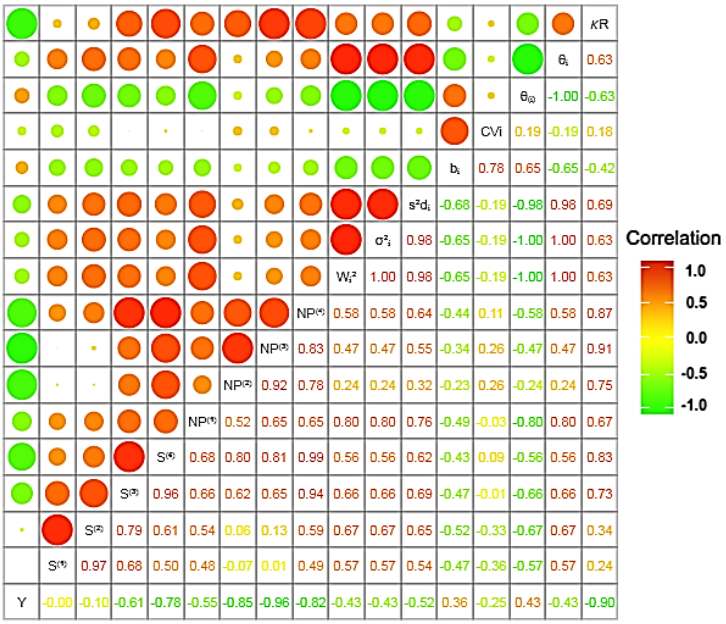
بر اساس آماره‌های پایداری نصار و هان ($S^{(1-6)}$)، ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین مقدار هستند، پایدارتر می‌باشند. بر این اساس به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۷، ۲ و ۳ پایدارتر و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۴ ناپایدارتر بودند (جدول ۳). در آماره‌های پایداری تنارازو نیز ژنوتیپ‌های دارای کمترین مقدار، پایدارتر هستند. بر اساس معیار $NP^{(1)}$، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۷، ۸ و ۹، براساس معیار $NP^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۳، ۸ و ۲ و بر اساس معیار $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$، ژنوتیپ‌های ۷، ۳ و ۲ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۳). براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2021) نیز پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو را در اقلیم گرم کشور مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. کارایی بالای آماره‌های ناپارامتری تنارازو، نصار و هان و کانگ برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار جو توسط سایر محققان نیز مورد تأیید قرار گرفته است (Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad, 2022; Barati *et al.*, 2021; Barati *et al.*, 2024).

براساس آماره‌های پایداری شوکلا (σ^2) و اکووالانس ریک (W^2)، ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۱۷ بیشترین پایداری را داشته و در مقابل، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۴ و ۶ به‌ترتیب از پایداری کمتری برخوردار بودند (جدول ۳). معمولاً از ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل (b) و انحراف از خط رگرسیون (S^2d) به‌طور همزمان برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شود، به‌طوریکه اگر شیب خط رگرسیون یک ژنوتیپ دارای اختلاف معنی‌داری با یک نبوده و همزمان دارای کمترین انحراف از خط رگرسیون باشد، پایدارتر است (Eberhart and Russell, 1966). بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۳ و ۸ به‌ترتیب با ضرایب رگرسیونی ۰/۹۹ و ۱/۰۱ و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون ۰/۳۷ و ۰/۴۱، سازگاری عمومی و پایداری عملکرد مناسبی داشتند (جدول ۳). بررسی ضریب تغییرات

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

محیطی فرانسیس و کانبرگ (CVi) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵، ۳ و ۱۷ کمترین ضریب تغییرات محیطی را داشتند (جدول ۳). بر اساس آماره کانگ (*KR*)، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، و ۷، براساس واریانس برهمکنش ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$) ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۱۷ و براساس آماره پلستید و پترسون (θ_i) (Plaisted and Peterson, 1959) ژنوتیپ‌های ۶، ۱۴ و ۱۶ به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند (جدول ۳). در مجموع و با در نظر گرفتن آماره‌های فوق، میانگین و انحراف معیار رتبه هر یک از این آماره‌ها و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۳، ۲ و ۷ بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۶ و ۱۴ نیز کمترین پایداری عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳).

نتایج تجزیه همبستگی بین آماره‌های پایداری در شکل ۱ ارائه شده است. در شکل ضرایب همبستگی به صورت دایره‌های کوچک و بزرگ نشان داده شده است. بزرگ‌تر بودن اندازه دایره‌ها نشان دهنده همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی قرمز تا زرد و زرد تا سبز نیز به‌ترتیب نشان دهنده ضرایب مثبت و منفی هستند. بر این اساس عملکرد دانه به‌ترتیب با آماره‌های $NP^{(3)}$، KR، $NP^{(2)}$، $NP^{(4)}$، و $S^{(6)}$ دارای بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار بود و بنابراین می‌توان از آماره‌های یاد شده برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرد. عملکرد دانه با هیچ یک از آماره‌های مورد ارزیابی، همبستگی مثبت و معنی‌داری نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری در ژنوتیپ‌های جو

Fig. 1. Correlation coefficients between grain yield and parametric and non-parametric stability statistics in barley genotypes

نتایج مقایسه میانگین دو ساله شاخص‌های ارزیابی تنش خشکی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شرایط بدون تنش (Yp) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (۶۸۷۶، ۶۷۰۹ و ۶۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۴، ۷ و ۳ و بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش (۶۲۹۱، ۵۹۴۶ و ۵۹۰۲ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۷، ۲

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه و مقادیر آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری ژنوتیپ‌های جو

Table 3. Mean grain yield and parametric and non-parametric stability statistics of barley genotypes

ژنوتیپ‌های جو	عملکرد دانه	آماره‌های پایداری نصار و هان				آماره‌های پایداری تارازو				اکووالانس	واریانس	انحراف از	ضریب رگرسیون	ضریب	واریانس	میانگین	مجموع	مجموع	انحراف
Barley	Grain yield	Nassar and Huehn's stability statistics				Thennarasu's stability statistics				ریک	پایداری شوکلا	خط رگرسیون	ابرهارت و راسل	تغیرات محیطی	ژنوتیپ و محیط	واریانس‌ها	رتبه کانگ	رتبه‌ها	معیار رتبه
genotypes	(kg.ha^{-1})	$S^{(1)}$	$S^{(2)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	$NP^{(1)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(4)}$	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	b_i	CVi	$\theta_{(i)}$	θ_i	*K*R	AR	SD
1	6219	3.59	9.48	8.18	2.35	3.75	0.36	0.35	0.28	4.57	0.43	0.38	1.19	42.07	0.54	0.50	13	6.44	2.97
2	6253	3.55	9.79	7.60	2.24	3.92	0.29	0.32	0.25	2.33	0.21	0.32	1.04	36.68	0.55	0.40	4	4.19	4.13
3	6209	3.38	8.81	7.13	2.34	3.75	0.23	0.31	0.25	2.58	0.23	0.37	0.99	35.18	0.55	0.41	7	3.75	3.80
4	6360	4.48	15.15	12.20	2.63	4.83	0.44	0.40	0.33	5.53	0.53	0.19	1.29	43.97	0.54	0.55	13	8.13	4.03
5	6133	5.39	20.97	18.70	3.89	5.08	0.36	0.48	0.44	6.96	0.68	0.86	1.14	41.71	0.53	0.62	20	10.44	3.67
6	4565	4.68	16.93	35.48	7.14	5.83	1.47	1.23	0.89	14.13	1.41	1.97	0.92	49.96	0.48	0.96	36	15.38	4.51
7	6500	2.86	6.20	4.48	1.61	4.00	0.42	0.29	0.19	4.15	0.39	0.31	1.20	40.24	0.54	0.48	8	4.56	3.79
8	5894	4.35	14.93	14.60	2.93	3.17	0.26	0.36	0.39	2.87	0.26	0.41	1.01	37.93	0.55	0.42	12	6.44	3.03
9	5253	3.68	10.20	15.48	4.00	3.33	0.39	0.56	0.51	2.83	0.26	0.40	0.96	40.73	0.55	0.42	17	8.00	3.35
10	5629	5.33	19.91	23.05	4.63	5.00	0.39	0.58	0.56	4.57	0.43	0.63	1.06	41.96	0.54	0.50	18	10.50	2.07
11	5353	3.61	13.42	18.85	3.32	4.17	0.42	0.59	0.46	6.70	0.65	0.75	0.83	35.86	0.53	0.61	25	9.88	3.01
12	5507	5.53	22.02	29.36	5.64	4.67	0.42	0.65	0.67	7.14	0.70	1.01	0.97	40.50	0.53	0.63	25	12.50	3.16
13	4776	3.08	9.11	26.73	6.53	3.50	2.06	1.12	0.82	3.09	0.28	0.28	0.85	39.37	0.55	0.43	23	9.88	5.40
14	5398	7.11	39.17	58.10	9.03	6.75	1.02	0.95	0.96	10.78	1.07	1.35	1.16	49.46	0.50	0.80	28	15.69	4.11
15	5533	5.80	23.90	26.51	5.14	5.08	0.45	0.56	0.59	6.61	0.64	0.63	0.79	32.85	0.53	0.60	21	11.13	3.56
16	5174	6.76	33.52	50.27	8.18	5.50	1.08	0.83	0.92	8.10	0.80	1.14	0.95	43.02	0.52	0.67	30	15.19	3.41
17	5121	3.00	6.52	11.62	3.89	2.75	0.62	0.61	0.49	2.73	0.25	0.19	0.84	35.82	0.55	0.42	18	6.56	5.09
18	4973	4.80	18.75	39.29	7.62	4.42	1.21	0.98	0.91	4.44	0.42	0.39	0.82	36.87	0.54	0.50	24	12.00	3.67

$S^{(1-6)}$, Nassar 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, Eberhart and Russell regression coefficient; S^2d, deviation from regression; CV, coefficient of variance; θ(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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

و ۱ بود (جدول ۴). بر اساس شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) و شاخص تحمل به خشکی (TOL) که مقادیر پایین عددی آن‌ها نشان دهنده تحمل بالاتر نسبت به تنش است، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۳ و ۱۴ به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر بوده و به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۳، ۴ و ۶ نیز به‌ترتیب دارای بیشترین مقادیر بوده و به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند. بر اساس شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل به تنش (STI) که مقادیر بالای آن‌ها نشان دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۷، ۴ و ۲ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۳ و ۱۸ نیز حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند. بر اساس شاخص تنش نسبی (RSI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز که مقادیر بالای آنها نشان دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۳ و ۱۴ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۴ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند. بر اساس شاخص عملکرد (YI) که مقادیر بالای آن نشان دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۷، ۲ و ۱ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۳ و ۱۱ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند. در مجموع و بر اساس میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها (AR) ژنوتیپ‌های ۷، ۲ و ۱ به‌ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۱۷ نیز به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناسایی شدند (جدول ۴).

با توجه به اینکه شاخص‌هایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتهای فصل مناسب هستند که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط داشته باشند، تجزیه همبستگی بین شاخص‌های ارزیابی تنش و عملکرد دانه در دو محیط انجام شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) به‌ترتیب با شاخص‌های YI، HM، GMP، STI و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته و با سایر شاخص‌ها همبستگی معنی‌داری نداشت. نتایج تجزیه همبستگی در شرایط بدون تنش (Yp) نیز نشان داد که عملکرد دانه به‌ترتیب با شاخص‌های MP، STI، GMP، HM و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته و با سایر شاخص‌ها همبستگی معنی‌داری نداشت. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطقی که با خشکی انتهای فصل مواجه هستند، می‌توان به‌ترتیب از شاخص‌های YI، HM، GMP، STI و MP و برای انتخاب در مناطقی که با خشکی انتهای فصل مواجه نیستند از شاخص‌های MP، STI، GMP، HM و YI استفاده کرد. آرزمجو و نیکخواه چمن‌آباد (Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad, 2022) گزارش کردند که شاخص‌های YI، HM، STI و GMP به‌ترتیب برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطق متأثر از تنش خشکی انتهای فصل مناسب هستند. به گزارش براتی و همکاران (Barati, *et al.*, 2023) از شاخص‌های STI، MP، HM و GMP می‌توان برای گزینش ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل استفاده کرد. نتایج آزمایش سانگ و همکاران (Song *et al.*, 2024) روی ژنوتیپ‌های جو نیز نشان داد که شاخص‌های GMP، MP، و STI همبستگی مثبت و SSI و TOL همبستگی منفی با زیست توده داشتند.

نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو بر اساس عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل و شاخص STI در شکل ۳ ارائه شده است. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل عملکرد دانه بالایی داشتند در گروه A، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشتند در گروه B، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی داشتند در گروه C و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد کمتری داشتند در گروه D قرار گرفتند (Fernandez, 1992). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ در گروه A و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

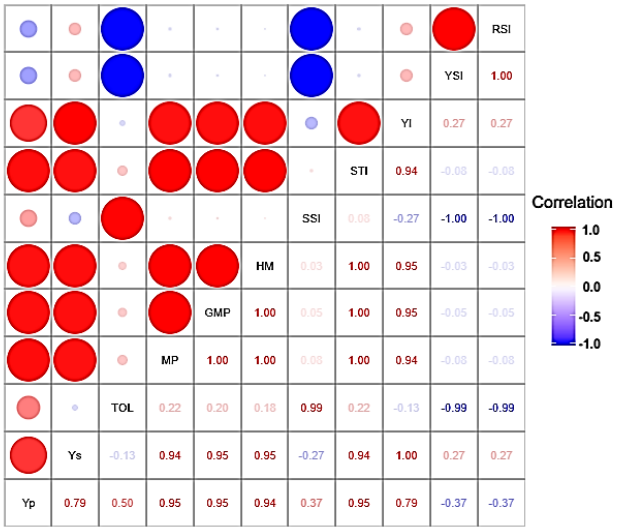
جدول ۴- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و رتبه‌بندی آن‌ها (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲)

Table 4. Mean grain yield (kg.ha^{-1}) of barley genotypes under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions and tolerance and susceptibility indices and their ranking (2021-2022 and 2022-2023)

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	عملکرد دانه بدون تنش Grain yield (Normal)		عملکرد دانه در تنش Grain yield (Drought stress)		درصد کاهش عملکرد Yield reduction (%)	شاخص تحمل Tolerance index		میانگین بهره‌وری Mean productivity		میانگین هندسی بهره‌وری Geometric mean productivity		میانگین هارمونیک 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 در کل شاخص‌ها Average of rank	انحراف معیار رتبه در کل شاخص‌ها Standard deviation of rank
	Yp	R	Ys	R.		TOL	R.	MP	R.	GMP	R.	HM	R.	SSI	R.	STI	R.	YI	R.	YSI	R.	RSI	R.		
1	6535	5	5902	3	9.70	0.63	12	6.22	4	6.21	4	6.20	4	1.11	11	1.12	4	1.10	3	0.90	11	0.99	11	6.55	3.78
2	6559	4	5946	2	9.35	0.61	10	6.25	3	6.24	3	6.24	3	1.07	10	1.14	3	1.11	2	0.91	10	0.99	10	5.45	3.64
3	6680	3	5737	6	14.12	0.94	16	6.21	5	6.19	5	6.17	5	1.61	15	1.12	5	1.07	6	0.86	15	0.94	15	8.73	5.24
4	6876	1	5843	4	15.03	1.03	17	6.36	2	6.34	2	6.32	2	1.72	16	1.17	2	1.09	4	0.85	16	0.93	16	7.45	7.03
5	6482	6	5784	5	10.76	0.70	13	6.13	6	6.12	6	6.11	6	1.23	13	1.09	6	1.08	5	0.89	13	0.98	13	8.36	3.70
6	5274	15	3856	18	26.88	1.42	18	4.56	18	4.51	18	4.45	18	3.07	18	0.59	18	0.72	18	0.73	18	0.80	18	17.73	0.90
7	6709	2	6291	1	6.23	0.42	9	6.50	1	6.50	1	6.49	1	0.71	9	1.23	1	1.18	1	0.94	9	1.03	9	4.00	3.97
8	6201	7	5587	7	9.90	0.61	11	5.89	7	5.89	7	5.88	7	1.13	12	1.01	7	1.04	7	0.90	12	0.99	12	8.73	2.41
9	5327	14	5180	11	2.75	0.15	6	5.25	13	5.25	13	5.25	13	0.31	6	0.80	13	0.97	11	0.97	6	1.07	6	10.18	3.43
10	5687	10	5572	8	2.02	0.11	4	5.63	8	5.63	8	5.63	8	0.23	4	0.92	8	1.04	8	0.98	4	1.07	4	6.73	2.24
11	5810	9	4896	16	15.73	0.91	15	5.35	12	5.33	12	5.31	12	1.80	17	0.83	12	0.92	16	0.84	17	0.92	17	14.09	2.77
12	5920	8	5093	12	13.96	0.83	14	5.51	10	5.49	10	5.48	10	1.59	14	0.88	10	0.95	12	0.86	14	0.94	14	11.64	2.16
13	4814	18	4738	17	1.59	0.08	2	4.78	17	4.78	17	4.78	17	0.18	2	0.66	17	0.89	17	0.98	2	1.08	2	11.64	7.65
14	5443	12	5353	10	1.66	0.09	3	5.40	11	5.40	11	5.40	11	0.19	3	0.85	11	1.00	10	0.98	3	1.08	3	8.00	4.00
15	5591	11	5476	9	2.06	0.11	5	5.53	9	5.53	9	5.53	9	0.23	5	0.89	9	1.02	9	0.98	5	1.07	5	7.73	2.24
16	5328	13	5020	13	5.79	0.31	8	5.17	14	5.17	14	5.17	14	0.66	8	0.78	14	0.94	13	0.94	8	1.03	8	11.55	2.84
17	5250	16	4992	14	4.91	0.26	7	5.12	15	5.12	15	5.12	15	0.56	7	0.76	15	0.93	14	0.95	7	1.04	7	12.00	4.00
18	4981	17	4966	15	0.31	0.02	1	4.97	16	4.97	16	4.97	16	0.04	1	0.72	16	0.93	15	1.00	1	1.09	1	10.45	7.51

Yp, Grain yield (normal); Ys, Grain yield (Drought stress); 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; and R, Rank

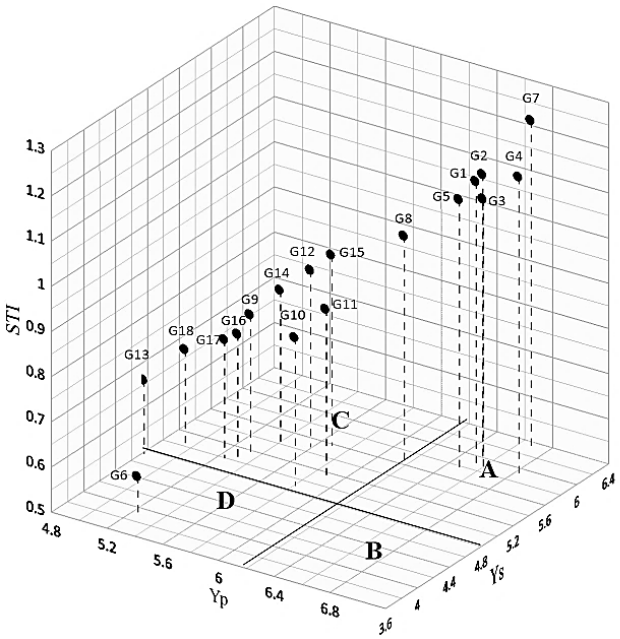
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]



شکل ۲- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو و شاخص‌های ارزیابی تنش در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys)

Fig. 2. Correlation coefficient between grain yield of barley genotypes and stress indices under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions

ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۳ در گروه D قرار گرفتند (شکل ۳). در سایر آزمایش‌ها نیز از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها استفاده شده است (Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad, 2022, Barati *et al.*, 2023)

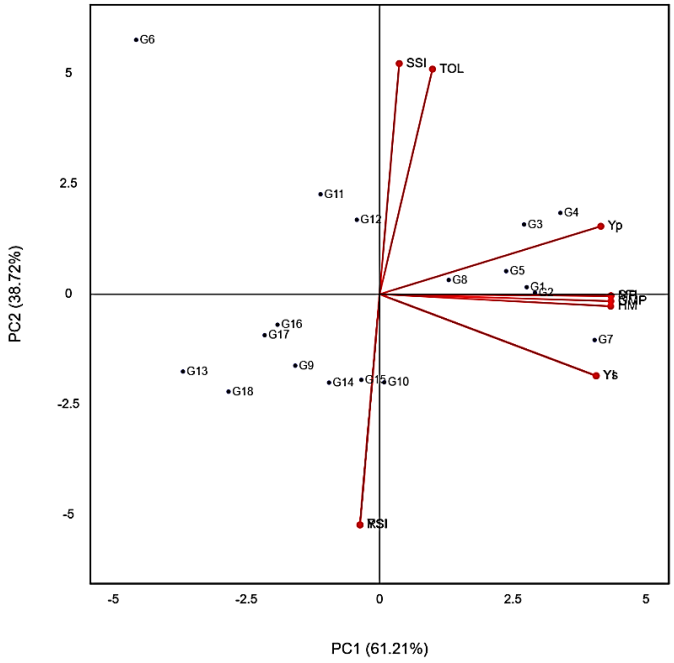


شکل ۳- نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شاخص STI (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲)

Fig. 3. 3D graph of grain yield of barley genotypes under normal (Yp), terminal drought stress (Ys) and STI index (2021-2022 and 2022-2023)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

تجزیه بای‌پلات به‌دلیل مقایسه همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس کلیه صفات، در مقایسه با تجزیه همبستگی ساده، روش مناسب‌تری برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط بدون تنش و تنش است. بر این اساس، سهم مؤلفه اول (PC1) ۶۱/۲ درصد و سهم مؤلفه دوم (PC2) ۳۸/۷ درصد بود (شکل ۴). بای‌پلات حاصل از دو مؤلفه نشان داد که مؤلفه اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های MP، STI، GMP و HM داشت (شکل ۴). در کلیه این شاخص‌ها، مقادیر عددی بالای آن‌ها مطلوبیت داشته و هرچه مقدار مؤلفه افزایش یابد، ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل‌تر به تنش انتخاب می‌شوند. مؤلفه دوم نیز همبستگی مثبت اما ضعیف‌تری با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های TOL و SSI داشت (شکل ۴). در شاخص‌های TOL و SSI مقادیر عددی پایین مطلوبیت داشته و بنابراین مؤلفه دوم نشان دهنده حساسیت به تنش بوده و هرچه بر مقدار آن افزوده شود، ژنوتیپ‌های با حساسیت بیشتر به تنش خشکی انتخاب می‌شوند. بر اساس نتایج نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ با توجه به موقعیت آن‌ها پتانسیل عملکرد دانه بالاتری داشته و نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر هستند، ضمن اینکه در شرایط بدون تنش نیز عملکرد مطلوبی دارند (شکل ۴). ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۲ در شرایط بدون تنش برتر بودند که البته تا حدودی نیز به تنش خشکی انتهای فصل متحمل بودند. ژنوتیپ‌های ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نیز صرفا برای شرایط بدون تنش مناسب بودند (شکل ۴). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در آزمایش سانگ و همکاران (Song *et al.*, 2024) نیز نشان داد که سهم مؤلفه اول برابر ۶۴/۴ درصد و سهم مؤلفه دوم ۳۲/۹ درصد بود و این دو جزء تقریباً تمام تغییرات شاخص‌های تنش را توجیه کردند.



شکل ۴- بای‌پلات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) در شاخص‌های ارزیابی تنش براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲)

Fig. 4. Biplot of barley genotypes in stress indices and grain yield under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions based on the first and second principal components (2021-2022 and 2022-2023)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق که طی دو سال زراعی در سه ایستگاه منطقه معتدل کشور اجرا شد نشان داد که ژنوتیپ‌های جو ۷، ۴ و ۲ به‌ترتیب با میانگین ۶۵۰۰، ۶۳۶۰ و ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند. با توجه به همبستگی بالای آماره‌های $NP^{(3)}$، KR، $NP^{(2)}$، $NP^{(4)}$، و $S^{(6)}$ با عملکرد دانه، آماره‌های یاد شده از کارایی بالاتری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول جو برخوردار بودند. نتایج ارزیابی پایداری عملکرد با استفاده از آماره‌های پارامتری و ناپارامتری و ارزیابی تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی تنش نشان داد که ژنوتیپ ۲ با شجره Assala'S'//Avt/Aths/3/Arinar/Aths//D529/4/Yousef، و ژنوتیپ ۷ با شجره Yousef/3/Legia//Rhn/Lignee 527، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر که سازگاری مناسبی برای کاشت در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل دارند را می‌توان در آزمایش‌های تکمیلی معرفی رقم برای این اقلیم مورد توجه قرار داد. هر دو ژنوتیپ ۲ و ۷ حاصل تلاقی بین ژنوتیپ‌های داخلی و برنامه به‌نژادی جو آبی هستند. در ساختار ژنتیکی ژنوتیپ‌های یاد شده، رقم یوسف که یکی از ارقام جو رایج زودرس و متحمل به تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل کشور است، وجود دارد و به‌نظر می‌رسد که این موضوع یکی از دلایل تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های یاد شده است. ژنوتیپ ۲ حاصل تلاقی رقم یوسف (پایه پدری) با یک ژنوتیپ امیدبخش پرمحصول و با ساختار ژنتیکی Assala'S'//Avt/Aths/3/Arinar/Aths//D529 به عنوان پایه مادری است و هدف از این تلاقی توسعه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مناسب و متحمل به تنش خشکی بوده است. ژنوتیپ ۷، حاصل تلاقی رقم یوسف به عنوان والد مادری و ژنوتیپ امیدبخش Legia//Rhn/Lignee 527 (والد پدری) که قبلاً به عنوان رقم ارمغان (Nikkhah *et al.*, 2019) معرفی شده است، می‌باشد. چنانکه ذکر شد رقم یوسف متحمل به خشکی بوده و یکی از دلایل تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ ۷، وجود ریخته توارثی رقم یوسف در ترکیب ژنتیکی آن است.

سپاسگزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی شماره ۰۱۰۸۵۳-۱۲۸-۰۳۱۳-۰۳-۰۳ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استخراج شده است. بدینوسیله از مساعدت همکاران در ایستگاه‌های تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Anonymous. 2024. Agricultural Statistics of 2022-2023 Cropping Season. Ministry of Agriculture-Jahad, Vol. 1. [In Persian].

Arazmjoo, E., and Nikkhah Chamanabad, H. 2022. Selecting tolerant barley genotypes to terminal drought stress based on grain yield stability and stress tolerance indices. *Cereal Research*, 11(4), pp.325-341. [In Persian]. 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., and Kheirgo, 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), pp.179-192. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.13.38.179

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

Barati, A., Arazmjoo, E., Tabatabei, S.A., and Taheri Mazandarani, M. 2023. Selection of tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to terminal drought stress based on grain yield, yield stability and stress tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 25(3), pp.258-274. [In Persian]. doi: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

Barati, A., Arazmjo, E., Tabatabaei, S.A., and Ghazvini, H.A. 2024. Selection of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) with high and stable grain yield in drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 16(2), pp.148-159. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.61186/jcb.16.2.148

Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V., and 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, pp.49-59. https://doi.org/10.1071/AR9870049

Bouslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, pp.933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Eberhart, S.A.T., and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6 (1), pp.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. (Ed.), 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., and Wilkinson, G.N. 1963. Adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, pp.742-754. http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742

Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, pp.897-912. http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897

Fischer, R.A., and Wood, T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, pp.1001-1020. https://doi.org/10.1071/AR9791001

USDA. 2025. Production- Barley. Retrieved March 26, 2025, from https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0430000

Francis, T.R., and Kannenberg, L.W. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, pp.1029-1034. https://doi.org/10.4141/cjps78-157

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G. Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, pp.523-531. https://doi.org/10.4141/P96-130

Gerrano, A.S., Jansen van Rensburg, W.S., Mathew, I., Shayanowako, A.I.T., Bairu, M. W., Venter, S.L.,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

and Labuschagne, M. 2020. Genotype and genotype x environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. *Euphytica*, 216. https://doi.org/10.1007/s10681-020-02611-z

Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16, pp.113-115. https://doi.org/23782771

Khalili, M., and Pour-Aboughadareh, A. 2016. Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agricultureal Science and Technology*, 18(3), pp.789-803. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2016.18.3.20.2

Nassar, R., and Huhn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, pp.45-53. https://doi.org/10.2307/2531947

Nikkhah, H., Yousefi, A., Ghazvini, H., Sorkhi, B., Barati, A., Patpour, M., Taheri Mazandarani, M., Tajali, H., Azarmjoo, M., Mahlooji, M., Sharif Alhosseini, M., Taherian, M., Aghnoom, R., Tabatabaei, S.A., and Hasani, F. 2019. Armaghan, a high-yielding barley variety with high adaptation to temperate regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *8*(1), pp.13-24. [In Persian]. doi: 10.22092/rafhc.2019.120814.1124

Nikkhah, H.R., Tajali, H., Tabatabaie, S.A., and 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), pp.1-17. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.44.1

Plaisted, R.I., and Peterson, L.C. 1959. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36, pp.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. *American Potato Journal*, 37, pp.166-172. https://doi.org/10.1007/BF02855271

Poggi, G.M., Corneti, S., Aloisi, I., and Ventura, F. 2023. Environment-oriented selection criteria to overcome controversies in breeding for drought resistance in wheat. *Journal of Plant Physiology*, 280, 153895. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153895

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P., and 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., and Siddique, K.H.M. 2019b. STABILITYSOFT: 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

Rosielle, A.A., and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, pp.943-946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]

Shewry, P.R. and Hey, S.J. 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4, pp.178-202. https://doi.org/10.1002/fes3.64

Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29, pp.237-245. https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87

Song, R., Shi, P., Xiang, L., He, Y., Dong, Y., Miao, Y., and Qi, J. 2024. Evaluation of barley genotypes for drought adaptability: based on stress indices and comprehensive evaluation as criteria. *Frontiers in Plant Science*, 15, pp.1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1436872

Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD Dissertation, PJ School, IARI, New Delhi, India.

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H., and Siddique, K.H.M. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype×environment interaction and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, 215: 63. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5

van Dijk, M., Morley, T., and Rau, M.L. 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. *NatFood*, 2, pp.494-501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

Wricke, G. 1962. Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 47, pp.92-96.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), pp.597-605. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-31]