"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

DOI:

ارزیابی واکنش به تنش شوری و برهمکنش ژنوتیپ و محیط ژنوتیپ‌های امیدبخش جو (*Hordeum vulgare* L.) در اقلیم معتدل ایران

Assessment of response to salinity stress and genotype × environment interaction of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in temperate climate of Iran

الیاس آرزمجو[۱]، علی براتی[۲]، سیدعلی طباطبایی[۳] و مهرداد محلوجی[۴]

چکیده

آرزمجو، ا.، ع. براتی، س. ع. طباطبایی و م. محلوجی. ۱۴۰۴. ارزیابی واکنش به تنش شوری و برهمکنش ژنوتیپ و محیط ژنوتیپ‌های امیدبخش جو (*Hordeum vulgare* L.) در اقلیم معتدل ایران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۳): ۲۸۴ -۲۶۵.**

شوری خاک و آب از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید پایدار جو در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند و واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش شوری، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل را پیچیده می‌سازد. آزمایش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد دانه و میزان تحمل به تنش شوری ۱۷ ژنوتیپ جو شامل ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش و رقم شاهد ارمغان، در تیمارهای بدون تش و تنش شوری انجام شد. آزمایش‌ها در سه ایستگاه تحقیقاتی بیرجند، یزد و اصفهان طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. در مجموع، ۱۲ محیط شامل سه مکان، دو سال و دو تیمار بدون تنش و تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شامل RC، TOL، MP، GMP، HM، SSI، STI، YI، YSI و RSI محاسبه و روابط بین شاخص‌ها و عملکرد با استفاده از تحلیل همبستگی، نمودار سه‌بعدی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی ارزیابی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سال و مکان در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری معنی‌دار بود و برهمکنش ژنوتیپ و سال و مکان نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان دهنده وابستگی پاسخ ژنوتیپ‌ها به ترکیب محیطی است. تنش شوری باعث کاهش عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌های جو شد، با این حال، میزان کاهش بین آنها متفاوت بود. ژنوتیپ‌های G1 و G8 کم‌ترین کاهش عملکرد را داشتند و ژنوتیپ‌های G14، G16 و G17 حساس‌تر بودند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G6، G7، G13 و G17 بر اساس عملکرد دانه، STI و YI در گروه برتر قرار گرفتند، با این حال از نظر حفظ عملکرد و حساسیت نسبی به تنش شوری، ژنوتیپ‌های G1، G8 و G4 عملکرد بهتری داشتند. شاخص‌های GMP، HM و STI بیشترین ارتباط همزمان را با عملکرد دانه در هر دو تیمار بدون تنش وو تنش شوری داشتند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز ۹۵/۹ درصد از تغییرات کل را در دو مؤلفه نخست تبیین کرد. در مجموع، ژنوتیپ G1 به‌عنوان ژنوتیپ برتر از نظر ترکیب عملکرد دانه، کاهش نسبی کمتر عملکرد و شاخص‌های تحمل شناسایی شد و ژنوتیپ‌های G2 و G6 نیز به دلیل عملکرد بالای کلی، به‌ویژه در شرایط بدون تنش و عملکرد قابل قبول در تیمار تنش شوری، به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند برای ارزیابی‌های تکمیلی در محیط‌های دارای تنش شوری و استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آزمایش‌های چند محیطی، تنش شوری، جو، عملکرد دانه و ضریب همبستگی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰ این مقاله مستخرج پروژه تحقیقاتی به شماره ۰۲۰۷۶۹-۰۶۸-۰۳-۰۳-۰۰ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- 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
۲- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده، barati32@yahoo.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- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

2025© The Authors. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

Iranian Journal of Crop Sciences
Vol. 27, No. 3, Autumn 2025

RESEARCH ARTICLE

DOI

Assessment of response to salinity stress and genotype × environment interaction of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in temperate climate of Iran

Arazmjoo, E.[1], Barati, A.[2], Tabatabaei, S.A.[3] and Mahlooji, M.[4]

ABSTRACT

Arazmjoo, E., Barati, A., Tabatabaei, S. A. and Mahlooji, M. 2025. Assessment of response to salinity stress and genotype × environment interaction of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in temperate climate of Iran**. Iranian Journal of Crop Sciences. 27(3): 265-284. (In Persian).**

Introduction: Soil and water salinity is one of the major abiotic constraints limiting sustainable crop production in arid and semi-arid regions. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is relatively tolerant to salinity stress and is therefore an important crop for marginal and salt-affected areas. Evaluation of germplasm across contrasting environments is required to identify promising genotypes with high grain yield potential under salinity stress conditions. Stress tolerance indices provide quantitative criteria for comparing genotypes under non-stress and salinity stress conditions. Because individual indices describe different aspects of stress response, their combined use with multivariate analyses can provide a more comprehensive approach to genotype selection. The present study was conducted to evaluate grain yield variation, salinity stress tolerance, and adaptation of promising barley genotypes across multiple environments and to identify the most informative stress indices for genotype selection.

Materials and Methods: Seventeen barley promising genotypes were evaluated using a randomized complete block design with three replications. Field experiments were conducted at three research stations in Birjand, Yazd, and Isfahan, Iran, during two consecutive cropping seasons, 2023-24 and 2024-25. At each location, normal and salinity stress conditions were established simultaneously in separate experimental fields. Under non-stres conditions, experiments were conducted on non-saline soils using irrigation water with an electrical conductivity (EC) of approximately 2-4 $dS.m^{-1}$. Under salinity stress conditions, irrigation water had an EC of 8-12 $dS.m^{-1}$ and soil EC ranged from 10 to 14 $dS.m^{-1}$. Experiments were sown during the first half of November using a Wintersteiger seed planter. Combined analyses of variance were performed separately for non-stress and salinity stress conditions to determine the effects of year, location, genotype, and their interactions. Stress-related indices, including yield reduction percentage (RC), tolerance index (TOL), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield index (YI), yield stability index (YSI), and relative stress index (RSI), were calculated using grain yield under non-stress and salinity stress conditions. A three-dimensional scatter plot based on grain yield under non-stress and salinity stress conditions and STI was used to classify genotypes. Principal component analysis (PCA) was also performed to examine the multi-traits relationships among genotypes, grain yield, and stress indices.

Results: Salinity stress significantly reduced grain yield in all barley genotypes, although the magnitude of grain yield reduction differed among genotypes and environments. Under non-stress conditions, the highest yields were recorded particularly in Isfahan during the first cropping season. Genotypes; G2, G13, and G6 reached 10365,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

8443, and 8257 kg.ha^{-1}, respectively. The grain yield of G15 in the most severe saline condition was only 1450 kg.ha^{-1}. Genotype G1 exhibited a reasonable response across non-stress and saline stress conditions, maintaining relatively high grain yield and showing the lowest yield reduction among the leading genotypes. Genotype G8 also showed a relatively low yield reduction. Based on grain yield reduction and TOL, G1, G8, and G4 showed reasonable responses across the two conditions, whereas G14, G16, and G17 exhibited the greatest yield reductions, respectively. The stress tolerance indices differentiated barley genotypes according to their grain yield potential and responses to salinity stress conditions. Genotype G2 had the highest MP, while G1 showed a particularly reasonable GMP. Genotype G6 and G13 also showed reasonable values for productivity-based indices. The check cv. Armaghan exhibited a desirable combination of grain yield under both conditions. SSI values below one were observed for G1, G8, G4, and G3, indicating lower-than-average sensitivity, whereas G14, G16, and G17 showed greater sensitivity. YSI and RSI also identified G1, G8, and G4 as genotypes capable of maintaining a relatively greater proportion of their yield under salinity stress conditions. STI and YI identified G1, G2, G6, G13, G7, and G17 as promising genotypes based on their grain yield under non-stress and saline conditions. Correlation analysis showed significant positive relationships between grain yield under non-stress conditions and MP, GMP, STI, and HM. Under salinity stress conditions, grain yield was strongly and positively correlated with YI, HM, STI, and GMP.

Conclusion: The results of the present research demonstrated significant variation among barley promising genotypes in grain yield response to salinity stress conditions. Genotype G1 was identified as the most promising genotype based on its relatively high grain yield, low yield reduction, and reasonabl stress-response characteristics. Genotype G2 and G6 also combined high grain yield potential with reasonable grain yield under salinity stress conditions, while G7, G13, and G17 showed reasonable values for STI and YI. The identified promising genotypes will be considered for further evaluation and use as genetic resources in the national barley breeding program targeting salt-affected areas in temperate regions of Iran.

Key words: Barley, Correlation coefficient, Grain yield, Multi-environment trials and Salinity stress

Received: February, 2026 **Accepted: September, 2026**

1. Assistance Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Birjand, Iran
2. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (Corresponding author, ✉ barati32@yahoo.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, Yazd, Iran
4. Associate Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran

2025© The Authors. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

مقدمه

شوری خاک و آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و اثر آن بر رشد و عملکرد گیاه به شدت تنش، مرحله رشد و ویژگی‌های ژنتیکی ژنوتیپ بستگی دارد. تغییرات اقلیمی، افزایش دمای کره زمین، کاهش منابع آب شیرین و توسعه نامناسب سیستم‌های آبیاری، باعث گسترش شوری خاک در سطح جهانی شده است. بر اساس برآوردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، حدود ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند که این رقم در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در حال افزایش است (FAO, 2023). تنش شوری خاک و آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که عملکرد و پایداری تولید گیاهان زراعی از جمله جو (*Hordeum vulgare* L.) را به‌طور جدی تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به گسترش اراضی شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، افزایش عملکرد و سازگاری جو در چنین شرایطی از اولویت‌های اساسی برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌رود. اگرچه جو نسبت به سایر غلات به تنش شوری نسبتا متحمل است، اما کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در مواجهه با این تنش به‌خصوص در مراحل حساس رشد، کماکان چالشی بزرگ در سامانه‌های زراعی محسوب می‌شود (Hammami *et al.*, 2025). جو به عنوان چهارمین غله مهم جهان پس از ذرت، برنج و گندم و با تولید سالانه حدود ۱۴۵ میلیون تن، نقشی حیاتی در امنیت غذایی جهانی، تغذیه دام و صنایع غذایی ایفا می‌کند (FAO, 2023). سطح زیر کشت جو در ایران طی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ برابر ۱/۷۵۴/۶۵۷ هکتار با مجموع تولید ۳/۸۱۰/۴۷۹ تن بوده است (Anonymous, 2025). جو به دلیل تحمل نسبی به تنش‌های غیرزنده، به ویژه تنش شوری، به طور گسترده در مناطق شور و خشک کشورهای خاورمیانه، آسیای مرکزی و شمال آفریقا کشت می‌شود (Roy *et al.*, 2014). با وجود این، تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی در واکنش ژنوتیپ‌های جو به تنش شوری وجود دارد و همین موضوع امکان انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و سازگار را از طریق ارزیابی‌های میدانی فراهم می‌کند. نتایج مطالعات فیزیولوژیک و مولکولی نیز نشان داده است که پاسخ به تنش شوری در جو یک ویژگی پیچیده و وابسته به ژنوتیپ است و ژنوتیپ‌های متحمل و حساس از نظر سازوکارهای رشد، تنظیم اسمزی و پاسخ‌های فیزیولوژیک تفاوت دارند (Gharaghanipor *et al.*, 2022; Alsamadany *et al.*, 2024). برهمکنش ژنوتیپ و محیط به معنای تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به تغییرات محیطی است و درک این پدیده برای توسعه ارقام متحمل به تنش شوری ضروری است (Yan and Kang, 2003). چالش اصلی در توسعه ارقام متحمل به شوری، پیچیدگی ژنتیکی مقاومت به تنش شوری است. این صفت توسط چندین ژن کنترل می‌شود و تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد. این موضوع باعث شده است که انتخاب ارقام متحمل در محیط‌های مختلف با مشکلاتی همراه باشد.

ارزیابی عملکرد دانه و اجزای عملکرد جو در غلظت‌های مختلف شوری نشان داده است که میزان افت عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف مشهود و قابل تفکیک است و این تنوع می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرد (Mansour *et al.*, 2021). در ارزیابی ژنوتیپ‌های جو در سطوح تنش شوری گزارش شده است که تفاوت‌های ژنتیکی معنی‌داری در پاسخ به شوری وجود دارد و برخی ژنوتیپ‌ها توانایی حفظ اجزای عملکرد و عملکرد دانه را در شرایط شور دارند که اهمیت غربالگری مزرعه‌ای را برای برنامه‌های به‌نژادی نشان می‌دهد (Hussain *et al.*, 2022). نتایج آزمایشات چندمنطقه‌ای نیز اهمیت برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GEI) را در تعیین سازگاری ارقام جو تأیید کرده‌اند و گزارش شده است که نتایج ارزیابی عملکرد دانه و پاسخ به تنش

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

شوری در مزرعه بسته به موقعیت مکانی و سال زراعی به‌طور چشمگیری متفاوت است (Elakhdar *et al.*, 2025). استفاده از شاخص‌های مختلف تنش به‌عنوان ابزارهای کمّی برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها و افت عملکرد در شرایط تنش شوری نقش مهمی در انتخاب والدین اصلاحی دارد. شاخص‌هایی مانند شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) برای تمایز دقیق‌تر ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش به‌کار می‌روند و کارایی آنها در پژوهش‌های متعدد در جو و سایر غلات تأیید شده است (Ghonaim *et al.*, 2023).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) امکان بررسی هم‌زمان روابط میان ژنوتیپ‌ها، عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت را فراهم می‌کند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، به‌ویژه زمانی اهمیت دارد که شاخص‌های مختلف، معیارهای متفاوتی از عملکرد تحت تنش و حفظ عملکرد را بیان کنند. در مطالعات اخیر روی جو، روش‌های چندمتغیره در کنار شاخص‌های تحمل برای تفکیک ژنوتیپ‌ها و شناسایی الگوهای مشترک بین عملکرد و پاسخ به تنش مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Ghonaim *et al.*, 2023; Elakhdar *et al.*, 2025). استفاده از روش‌های چند متغیره مانند تحلیل بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه همبستگی، امکان بررسی یکپارچه ارتباط عملکرد، پایداری و تحمل به تنش را فراهم می‌سازد، به‌گونه‌ای که انتخاب ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های مختلف دقیق‌تر و قابل اعتمادتر انجام شود (Elakhdar *et al.*, 2025; Barati *et al.*, 2024). در ارزیابی ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش شوری گزارش شد که شاخص‌های STI، MP، GMP و HM همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو محیط داشتند و مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری بودند. نتایج تحلیل همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی کارایی این شاخص‌ها را تأیید کرده‌اند (Kumar *et al.*, 2024). همچنین گزارش شده است که ژنوتیپ‌های متحمل جو در شرایط تنش شوری توانایی بیشتری در رشد، تعادل یونی و عملکرد فیزیولوژیک نسبت به ژنوتیپ‌های حساس دارند و شاخص تحمل به تنش یکی از شاخص‌های مؤثر برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل است (Gharaghanipor *et al.*, 2022).

نتایج آزمایشات اخیر علاوه بر تاکید بر اهمیت تنوع ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در پاسخ به تنش شوری (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021; Alsamadany *et al.*, 2024; Abdelghany *et al.*, 2024)، نشان می‌دهند که استفاده از شاخص‌های تنش و تحلیل‌های چند متغیره، راهکار علمی و کارآمدی برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه قابل قبول در شرایط تنش شوری است. با وجود آزمایشات متعدد درباره تحمل تنش شوری در جو، هنوز نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌های امیدبخش در شرایط مزرعه و در چند مکان و سال وجود دارد، زیرا شدت و نوع واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی تغییر می‌کند. بنابراین، ارزیابی هم‌زمان عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش شوری، استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت و بررسی روابط میان این شاخص‌ها با عملکرد می‌تواند دیدگاه جامع‌تری برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار فراهم کند. بر این اساس، در پژوهش حاضر ۱۷ ژنوتیپ جو در سه مکان و در دو سال زراعی در شرایط بدون تنش و تنش شوری ارزیابی شدند و عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، روابط بین شاخص‌ها و عملکرد دانه و الگوهای چند متغیره ژنوتیپ‌ها با استفاده از ضرایب همبستگی، نمودار سه‌بعدی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری، تعداد ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش جو حاصل از برنامه

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

ملی به‌نژادی جو برای اقلیم معتدل با رقم شاهد ارمغان، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش‌ها در سه ایستگاه تحقیقاتی منتخب در اقلیم معتدل ایران در دو سال زراعی متوالی (۰۳-۱۴۰۲ و ۰۴-۱۴۰۳) اجرا شدند. برای مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های جو در تیمار تنش شوری، در ایستگاه‌های اصفهان، بیرجند و یزد، آزمایش‌های شرایط بدون تنش و تنش شوری به‌طور هم‌زمان و در قطعات آزمایشی مجزا در همان محدوده ایستگاه تحقیقاتی اجرا شدند. در این سه مکان، تیمارهای بدون تنش و تنش شوری از نظر موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی به یک مکان تحقیقاتی مربوط بودند و تفاوت بین آن‌ها، وضعیت شوری خاک و آب آبیاری بود. تیمار بدون تنش در خاک‌های غیرشور و با آب آبیاری با هدایت الکتریکی۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر و شرایط تنش شوری در خاک‌های شور با استفاده از آب آبیاری شور ایجاد شد. هدایت الکتریکی آب آبیاری در تیمار تنش شوری ۷ تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و هدایت الکتریکی خاک ۱۰ تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. بنابراین، هر دو تیمار در هر ایستگاه در یک فصل زراعی و در یک موقعیت جغرافیایی، تحت شرایط اقلیمی مشابه قرار داشتند، در حالی‌که وضعیت شوری خاک و آب آبیاری بین دو تیمار متفاوت بود. اطلاعات مربوط به شرایط خاک و آب و تفکیک محیط‌های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در این آزمایش بر اساس عملکرد دانه، ثبات عملکرد و سایر صفات (تحمل به خوابیدگی بوته، تحمل به بیماری‌های جو، تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه)، از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته جو که در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در ایستگاه‌های اقلیم معتدل کشور در شرایط تنش شوری اجرا شده بود، انتخاب شدند (جدول ۲).

کاشت بذر ژنوتیپ‌ها در هر ایستگاه با استفاده از دستگاه بذرکار وینتراشتایگر روی دو پشته به‌طول شش متر و به‌عرض ۱/۲ متر در کرت‌هایی به (مساحت ۷/۲ مترمربع، در قالب شش ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل آیش بود و کاشت بذر در نیمه اول آبان انجام شد. کوددهی بر اساس نتایج تجزیه خاک هر ایستگاه انجام شد. میزان کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاس طبق توصیه‌های تخصصی مربوط به گیاه جو بهینه‌سازی شد. تراکم بذر بر اساس ۳۵۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد. برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش توفوردی به میزان یک و نیم لیتر در هکتار و برای علف‌های هرز باریک‌برگ از علف‌کش پوماسوپر به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد. برای تعیین عملکرد دانه، کل محصول هر کرت پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت و توزین شد. پس از تعیین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش و تنش شوری، تجزیه بای‌پلات، محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شامل MP، GMP، TOL، HM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه با استفاده از ابزار تحت وب iPASTIC انجام شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019). این ابزار بر اساس روابط استاندارد که در جدول ۱ مرجع iPASTIC ارائه شده، شاخص‌ها را به‌صورت خودکار استخراج می‌کند (جدول ۳). نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو در محدوده‌های A، B، C و D با استفاده از نرم‌افزار Grapher رسم شد. نتایج شاخص‌ها در کنار عملکرد دانه، تحلیل همبستگی، نمودار سه‌بعدی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد و پاسخ مطلوب‌تر به تنش شوری مورد استفاده قرار گرفتند. در روابط زیر، *Yp* و *Ys* به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش شوری و *Ypi* و *Ysi* نیز میانگین عملکرد هر یک از آن‌ها در دو شرایط بدون تنش و تنش شوری است.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش

Table 1. Geographical information and physical and chemical properties of the soil at the experiment sites

Location مکان	Year سال	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع Altitude (m ASL)	شوری آب آبیاری EC_{water} (dS.m^{-1})	شوری خاک EC_{soil} (dS.m^{-1})	Soil texture بافت خاک
Birjand بیرجند	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	32°52´N	58°59´E	1491	2.1	3.9	Loam لومی
Yazd یزد	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	31°54´N	54°16´E	1237	3.2	4.6	Silty loam لومی سیلتی
Isfahan اصفهان	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	32°99´N	51°17´E	1545	1.5	2.2	Clay loam رسی لومی
Birjand بیرجند	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	32°52´N	58°59´E	1491	2.1	4.3	Loam لومی
Yazd یزد	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	31°54´N	54°16´E	1237	3.2	4.3	Silty loam لومی سیلتی
Isfahan اصفهان	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	32°30´N	51°16´E	1541	4.2	4.8	Sandy clay شنی رسی
Birjand بیرجند	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	32°52´N	58°59´E	1491	8.0	10.8	Loam لومی
Yazd یزد	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	31°54´N	54°16´E	1237	8.4	11.6	Sandy loam لومی شنی
Isfahan اصفهان	2023-2024 ۱۴۰۲-۱۴۰۳	32°30´N	51°16´E	1541	7.0	10.0	Sandy clay شنی رسی
Birjand بیرجند	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	32°52´N	58°59´E	1491	8.1	13.9	Loam لومی
Yazd یزد	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	31°54´N	54°16´E	1237	8.4	11.6	Sandy loam لومی شنی
Isfahan اصفهان	2024-2025 ۱۴۰۳-۱۴۰۴	32°30´N	51°16´E	1541	10	12.0	Sandy clay شنی رسی

جدول ۲- مشخصات ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Characteristics of barley genotypes used in the experiment

Barley genotypes ژنوتیپ‌های جو	Pedigree شجره
G1	Armaghan (Check)
G2	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/Rhn-03//L.527/NK1272
G3	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/6/Nik
G4	Yousef/Goharan-16
G5	Yousef/Goharan-39
G6	Yousef/Goharan-79
G7	Yousef/Goharan-82
G8	Yousef/Fajr30-28
G9	Yousef/Fajr30-61
G10	Yousef/Fajr30-65
G11	Yousef/Fajr30-77
G12	Yousef/Fajr30-82
G13	Yousef/Fajr30-83
G14	Yousef/Fajr30-85
G15	Yousef/Fajr30-105
G16	Yousef/Fajr30-118
G17	MB-00-8 (Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205/5/Rihane-03)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

جدول ۳- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی مورد استفاده برای ارزیابی ژنوتیپ‌های جو

Table 3. Drought tolerance and susceptibility indices used for evaluation of the barley genotypes

SI= 1− (*Ys* /*Yp*)	(Fischer and Maurer, 1978)	GMP= $(Ypi \times Ysi)^{0.5}$	(Fernandez, 1992)
SSI= (1 − (*Ysi* /*Ypi*))/ *SI*	(Fischer and Maurer, 1978)	HM= (2×(*Ypi* × *Ysi*))/(*Ypi* + *Ysi*)	(Bidinger *et al.*, 1987)
TOL= *Ypi* - *Ysi*	(Rosielle and Hamblin, 1981)	YI= *Ysi* / *Ys*	(Gavuzzi *et al.*, 1997)
STI= $(Ypi \times Ysi)/(Yp)^2$	(Fernandez, 1992)	YSI= *Ysi* / *Ypi*	(Bouslama and Schapaugh, 1984)
MP= (*Ypi* + *Ysi*)/2	(Rosielle and Hamblin, 1981)	RSI= (*Ysi* / *Ypi*) / (*Ys* / *Yp*)	(Fischer and Wood, 1979)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که در تیمار بدون تنش اثرات اصلی سال و مکان بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار نبودند که این موضوع نشان دهنده یکنواختی نسبی شرایط اقلیمی و محیطی بین سال‌ها و مکان‌های مورد مطالعه در حالت بدون تنش است. با این حال، برهمکنش سال و مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که حاکی از نوسانات طبیعی و تغییرپذیری رفتار محیط‌ها در سال‌های اجرای آزمایش است. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه میانگین عملکرد کلی ژنوتیپ‌های جو بین سال‌ها و مکان‌ها به‌صورت مستقل تفاوت معنی‌داری نداشت، ترکیب سال و مکان باعث تغییر معنی‌دار در شرایط محیطی و میانگین عملکرد شد. اثر اصلی ژنوتیپ نیز معنی‌دار نبود، اما برهمکنش ژنوتیپ و سال و مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین، عملکرد ژنوتیپ‌ها به ترکیب خاص سال و مکان وابسته بود و میانگین‌گیری ساده در کل محیط‌ها می‌تواند بخشی از تفاوت‌های واکنش ژنوتیپ‌ها را پنهان کند. برهمکنش قوی سه‌گانه نشان می‌دهد که رتبه‌بندی و میزان عملکرد ژنوتیپ‌های جو به شدت وابسته به ترکیب خاص سال و مکان بوده و هیچ ژنوتیپی الگوی عملکردی ثابت و یکسانی را در کلیه محیط‌های مورد آزمایش نداشته است. در تیمار تنش شوری، اثر اصلی مکان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ولی اثر سال معنی‌دار نبود. برهمکنش سال و مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان دهنده تغییر شرایط محیطی بین سال‌ها در هر مکان است. اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و سال و برهمکنش ژنوتیپ و مکان معنی‌دار نبودند، اما برهمکنش ژنوتیپ و سال و مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها و برخی برهمکنش‌های دوجانبه از نظر آماری معنی‌دار نبودند، واکنش عملکرد ژنوتیپ‌های جو در ترکیب‌های خاص سال و مکان متفاوت بود. ازاین‌رو، ارزیابی چندمحیطی برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که عملکرد مناسبی را در دامنه‌ای از محیط‌های شور حفظ می‌کنند، ضروری است.

مقایسه میانگین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش نشان داد که پتانسیل عملکرد بالقوه (پتانسیل) در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بسیار بالا بوده و عوامل محیطی (مکان و سال) تاثیر شدیدی بر آن داشتند. بیشترین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش مربوط به محیط اصفهان در سال اول بود، به طوری که ژنوتیپ‌های G2، G13 و G6 به‌ترتیب با ۱۰۳۶۵، ۸۴۴۳ و ۸۲۵۷ کیلوگرم در هکتار، بالاترین عملکرد دانه را در این محیط داشتند (جدول ۴). محیط یزد در سال اول با میانگین عملکرد پایین‌تر، محدودکننده‌ترین محیط در تیمار بدون تنش شناخته شد، به طوری که حتی عملکرد برترین ژنوتیپ‌ها نیز در این محیط از مرز ۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار فراتر نرفتند و ژنوتیپ G15 با ۲۸۰۸ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۴). بنابراین، تفاوت عملکرد میان محیط‌ها نشان دهنده وجود تغییرپذیری قابل‌توجه شرایط رشد و تاثیر آن بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو بود. مقادیر مربوط به آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) (۱۰۹۵/۶)، نشان می‌دهد که تفاوت عملکرد بین ژنوتیپ‌های برتر (مانند G6، G13 و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

G2) با ژنوتیپ‌های ضعیف‌تر (مانند G9، G10 و G15) در اکثر محیط‌های بدون تنش کاملا معنی‌دار بود. در این شرایط، ژنوتیپ‌های G2 و G13 به عنوان ارقام با پتانسیل عملکرد بالا در محیط‌های بدون تنش شناخته شدند، هرچند که عملکرد آن‌ها در محیط‌های ضعیف‌تر مانند یزد افت محسوسی را داشت (جدول ۴). این الگو نشان دهنده اهمیت بالای شرایط محیطی و وجود برهمکنش ژنوتیپ و مکان در تعیین عملکرد دانه است. نتایج آزمایشات چندمحیطی جو در ایران نیز نشان داده است که اثر مکان و برهمکنش ژنوتیپ و مکان از عوامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد دانه هستند و رتبه ژنوتیپ‌ها ممکن است در محیط‌های مختلف تغییر کند. در ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ جو در پنج منطقه ایران، معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ، مکان و برهمکنش ژنوتیپ و مکان گزارش شده و وجود چند ابرمحیط متفاوت را نشان داد (Vaezi *et al.*, 2017). تفاوت بالای بین ایستگاه‌های اصفهان و یزد را می‌توان به تفاوت در مجموعه‌ای از عوامل محیطی، از جمله ویژگی‌های خاک، وضعیت رطوبتی، دما و طول دوره رشد نسبت داد. بنابراین، عملکرد بالای یک ژنوتیپ در محیط مناسب الزاما به معنی سازگاری عمومی آن نیست. نتایج یک آزمایش روی ۱۹ ژنوتیپ جو در محیط‌های مختلف ایران و تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و وجود برهمکنش ژنوتیپ و مکان نشان داد که انتخاب ژنوتیپ بر اساس میانگین عملکرد یک محیط منفرد می‌تواند منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با سازگاری محدود شود (Dehghani *et al.*, 2006).

در تیمار تنش شوری، الگوی پاسخ ژنوتیپ‌ها تغییرات زیادی داشت و اثرات محدودکننده تنش به وضوح در کاهش میانگین عملکرد و تغییر رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها نمایان شد. تنش شوری باعث کاهش شدید عملکرد ژنوتیپ‌های جو در تمام محیط‌ها شد، اما این کاهش در محیط یزد به ویژه در سال دوم کاملا چشمگیر بود، به‌طوریکه کمترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ G15 (۱۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) در این محیط ثبت شد (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد که در یزد به دلیل شرایط آب و هوایی یا ویژگی‌های خاک، در ترکیب با شوری، شدیدترین تنش به گیاه وارد شد. در مقابل در محیط اصفهان حتی در تیمار تنش شوری نیز شرایط برای دستیابی به عملکردهای قابل قبول (بالای ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برای اکثر ژنوتیپ‌ها) فراهم شد. از منظر واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش شوری، ژنوتیپ‌های G1، G2 و G6 با حفظ عملکرد نسبتاً بالا و کاهش کم‌تر نسبت به تیمار بدون تنش، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر یا سازگارتر با تنش شوری شناخته شدند. ژنوتیپ G1 در تیمار تنش شوری در بیرجند و اصفهان عملکردی نزدیک به تیمار بدون تنش داشت. این ویژگی را می‌توان نشانه‌ای از تحمل یا سازگاری نسبی این ژنوتیپ‌ها با شرایط شور دانست. نتایج تحقیقات انجام‌شده در مناطق خشک و شور نیز نشان است که ژنوتیپ‌های جو از نظر میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش شوری تفاوت قابل‌توجهی دارند و عملکرد برخی از ژنوتیپ‌ها کاهش نسبتاً محدودی دارد. در یک آزمایش روی ۴۰ ژنوتیپ جو در محیط‌های نیمه‌خشک و خشک، ژنوتیپ‌های متحمل با کاهش عملکرد حدود ۷ تا ۲۰ درصد، از ژنوتیپ‌های حساس که کاهش بسیار بیشتری داشتند، تفکیک شدند (Hammami *et al.*, 2026). در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های G15، G9 و G10 نه تنها در تیمار بدون تنش عملکرد پایینی داشتند، بلکه در تیمار تنش شوری نیز به شدت دچار افت عملکرد شدند که بر این اساس می‌توان آنها را به عنوان ژنوتیپ‌های بسیار حساس به تنش شوری طبقه‌بندی کرد (جدول ۴). ژنوتیپ G13 که در تیمار بدون تنش (به ویژه در اصفهان) یکی از بهترین ژنوتیپ‌ها بود، در تیمار تنش شوری افت عملکردی شدیدی داشت و جایگاه آن به ژنوتیپ‌هایی مانند G1 و G3 داده شد. این پدیده به وضوح نشان می‌دهد که سازوکارهای ژنتیکی کنترل کننده عملکرد در شرایط بدون تنش، لزوما با سازوکارهای تحمل به تنش شوری یکسان نیستند و انتخاب ارقام صرفا بر اساس

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در برهمکنش تیمارهای سال و مکان و تنش شوری

Table 4. Mean comparison of grain yield (kg.ha^{-1}) of barley genotypes in interaction of year × location × salinity stress

	Normal بدون تنش						Salinity stress تنش شوری					
	۱۴۰۲-۱۴۰۳ 2023-2024			۱۴۰۳-۱۴۰۴ 2024-2025			۱۴۰۲-۱۴۰۳ 2023-2024			۱۴۰۳-۱۴۰۴ 2024-2025		
ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	بیرجند Birjand	یزد Yazd	اصفهان Isfahan	بیرجند Birjand	یزد Yazd	اصفهان Isfahan	بیرجند Birjand	یزد Yazd	اصفهان Isfahan	بیرجند Birjand	یزد Yazd	اصفهان Isfahan
G1	8172	4575	6930	6061	4583	6663	6444	3381	7401	5222	2081	5322
G2	8383	3931	10365	6217	4803	6368	6083	3139	7328	5444	1861	5103
G3	7433	3819	8980	5417	4486	5729	6083	2539	7781	4606	1739	4825
G4	7739	4225	6411	5167	3925	5823	5986	3083	6583	3350	2081	5328
G5	6856	3778	5391	6200	5283	5899	4972	2433	7171	4178	1853	4314
G6	8461	4711	8257	6344	4606	7451	5444	3108	7025	4133	2086	5725
G7	8078	4825	7032	5961	5250	6441	5958	3108	5636	4400	2611	4781
G8	6967	3772	5753	4606	4933	4674	4333	2208	7427	3328	2147	5308
G9	7028	3482	5585	3833	4908	6462	4583	1858	6089	3578	2369	4306
G10	6489	4300	6414	4178	5311	5875	4986	2269	5362	3011	2089	4569
G11	7867	4675	6824	5944	4363	6472	5931	3042	6133	4556	2119	4575
G12	7817	4300	5654	6133	5858	6042	6167	2606	5099	4256	2528	4239
G13	8478	4536	8443	6394	5614	5302	6819	2469	6049	4183	1894	4417
G14	7050	4464	6692	5050	4967	7872	5000	1847	5428	3622	2092	4939
G15	7344	2808	3823	5611	4814	6948	5500	2361	5932	3439	1450	4719
G16	8178	4642	6104	5206	4642	7368	5125	2622	4638	3572	2158	5056
G17	7956	4578	8052	6217	5467	6417	5889	3525	5428	4222	1956	4667
$LSD_{5\%}$	1095.6						1004.8					

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

عملکرد در شرایط بدون تنش، باعث خطای راهبردی در برنامه‌های به‌نژادی مناطق مستعد تنش شوری خواهد شد. کاهش عملکرد در تیمار تنش شوری با نتایج سایر تحقیقات در جو مطابقت دارد. در ارزیابی ژنوتیپ‌های جو در سطوح تنش شوری گزارش شد که افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و زیست‌توده شد (Rukhsar *et al.*, 2026). در یک آزمایش روی ۲۱ ژنوتیپ جو، افزایش شوری باعث کاهش عملکرد و سایر صفات زراعی شد، اما شدت کاهش در ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و برهمکنش ژنوتیپ و شوری نیز معنی‌دار بود (Mansour *et al.*, 2021).

نتایج مربوط به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شوری نشان داد که عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌های جو در تیمار تنش شوری کاهش یافت و میزان کاهش نسبی عملکرد از ۱۹/۲ در G1 تا ۳۶/۴ درصد در G14 متغیر بود، بنابراین می‌توان از این تنوع برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بهره برد (Ghonaim *et al.*, 2023). ژنوتیپ‌های G1 و G8 به ترتیب با ۱۹/۲ و ۱۹/۴ درصد، کم‌ترین کاهش عملکرد و ژنوتیپ‌های G14، G16 و G17 به‌ترتیب با ۳۶/۴، ۳۵/۸ و ۳۳/۶ درصد، بیشترین افت عملکرد را داشتند که نشان دهنده حساسیت بیشتر آن‌ها به تنش شوری است (جدول ۵)، بنابراین از نظر حفظ نسبی عملکرد، ژنوتیپ‌های G1 و G8 پاسخ مناسب‌تری به تنش شوری داشتند. شاخص تحمل (TOL) نیز این موضوع را تایید کرد، به‌طوری که ژنوتیپ‌هایی با مقادیر پایین این شاخص (مانند G8، G4 و G1) تفاوت عملکرد کم‌تری بین تیمارهای بدون تنش و تنش شوری داشتند و از این نظر متحمل‌تر محسوب می‌شوند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G14، G17، G16 و G13 دارای مقادیر بالاتری از این شاخص بودند. این نتایج نشان می‌دهد که برخی از ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط بدون تنش الزاما گزینه‌های مناسبی برای محیط‌های شور نیستند. با این حال، شاخص تحمل به‌تنهایی نمی‌تواند میان ژنوتیپ‌های کم‌عملکرد و ژنوتیپ‌های واقعا متحمل تمایز کاملی ایجاد کند؛ بنابراین، تفسیر آن باید همراه با عملکرد مطلق و سایر شاخص‌ها انجام شود.

نتایج مربوط به شاخص‌های مبتنی بر میانگین عملکرد، شامل MP، GMP و HM، نشان داد که ژنوتیپ G2 بالاترین مقدار MP، GMP و HM (به‌ترتیب ۵۷۵۲، ۵۶۷۷ و ۵۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) داشت و پس از آن ژنوتیپ‌های G6 و G13 مقادیر نسبتا بالایی از این شاخص‌ها را داشتند (جدول ۵). با توجه به اینکه در این شاخص‌ها به‌طور همزمان عملکرد در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری را در نظر گرفته می‌شود، بنابراین گزینه‌هایی با عملکرد کلی مطلوب شناخته می‌شوند. در این میان، ژنوتیپ G1 ترکیب مطلوبی از عملکرد نسبتا بالا در هر دو شرایط و مقادیر مناسب شاخص‌های میانگین را داشت که بر این اساس می‌توان آن را گزینه‌ای مناسب برای شرایط شور در نظر گرفت. این موضوع با تحلیل چندگانه شاخص‌های تنش در سایر آزمایشات مطابقت دارد. گزارش شده است که STI، MP، GMP و HM شاخص‌های قابل‌اعتماد برای شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار جو در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری بوده و قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های مناسب برای هر محیط می‌باشند (Bouhraoua *et al.*, 2025).

بر اساس نتایج مربوط به شاخص حساسیت به تنش (SSI) نیز تفاوت زیادی بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت. ژنوتیپ‌هایی با SSI کم‌تر از یک (مانند G1، G8، G4 و G3) حساسیت کم‌تری به تنش شوری داشته و از دیدگاه فیزیولوژیکی، توانایی بهتری در حفظ عملکرد در تیمار تنش شوری داشتند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G14، G16 و G17 دارای مقادیر SSI بالاتر از یک بودند که نشان دهنده حساسیت بیشتر آن‌ها به تنش شوری است (جدول ۵). این نتایج با مقادیر RC (درصد کاهش عملکرد) و TOL مطابقت داشته و اعتبار شاخص SSI را در این مجموعه داده‌ها تایید می‌کند.

بر اساس نتایج مربوط به شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص عملکرد (YI)، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالاتری

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش شوری (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش

Table 5. Mean of grain yield of barley genotypes under normal (Yp) and salinity stress (Ys) and stress tolerance indices

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	Yp (kg.ha^{-1})	Ys (kg.ha^{-1})	RC (%)	TOL (kg.ha^{-1})	MP (kg.ha^{-1})	GMP (kg.ha^{-1})	HM (kg.ha^{-1})	SSI	STI	YI	YSI	RSI	AR	SD
G1	6164	4975	19.2	1189	5570	5538	5506	0.68	0.87	1.17	0.81	1.12	2.09	1.51
G2	6678	4826	27.7	1852	5752	5677	5603	0.98	0.92	1.13	0.72	1.01	4.36	4.37
G3	5977	4596	23.1	1381	5287	5241	5196	0.82	0.78	1.08	0.77	1.07	5.27	2.20
G4	5548	4402	20.6	1146	4975	4942	4909	0.73	0.70	1.04	0.79	1.11	6.82	3.76
G5	5568	4154	25.4	1414	4861	4809	4758	0.90	0.66	0.98	0.75	1.04	9.45	2.88
G6	6638	4587	30.9	2051	5613	5518	5425	1.09	0.87	1.08	0.69	0.96	6.36	4.72
G7	6265	4416	29.5	1849	5341	5260	5180	1.04	0.79	1.04	0.70	0.98	7.00	2.61
G8	5118	4125	19.4	993	4622	4595	4568	0.69	0.60	0.97	0.81	1.12	9.45	6.25
G9	5216	3797	27.2	1419	4507	4450	4395	0.96	0.56	0.89	0.73	1.01	13.36	4.48
G10	5428	3714	31.5	1714	4571	4490	4410	1.12	0.57	0.87	0.68	0.95	14.45	2.38
G11	6024	4393	27.0	1631	5209	5144	5081	0.96	0.75	1.03	0.73	1.02	7.45	0.52
G12	5967	4149	30.4	1818	5058	4976	4895	1.08	0.70	0.98	0.70	0.97	10.27	0.90
G13	6461	4305	33.3	2156	5383	5274	5167	1.18	0.79	1.01	0.67	0.93	8.45	4.68
G14	6016	3821	36.4	2195	4919	4794	4674	1.29	0.65	0.90	0.64	0.89	14.36	2.62
G15	5225	3900	25.3	1325	4563	4514	4466	0.90	0.58	0.92	0.75	1.04	11.00	5.04
G16	6023	3862	35.8	2161	4943	4823	4706	1.27	0.66	0.91	0.64	0.89	13.09	2.66
G17	6448	4281	33.6	2167	5365	5254	5146	1.19	0.79	1.01	0.66	0.93	9.73	4.63

Yp: عملکرد دانه در تیمار بدون تنش، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش تنش شوری، RC: درصد کاهش عملکرد، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص ثبات عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی، AR: میانگین رتبه ژنوتیپ در کل شاخص‌ها، SD: انحراف معیار رتبه ژنوتیپ در کل شاخص‌ها

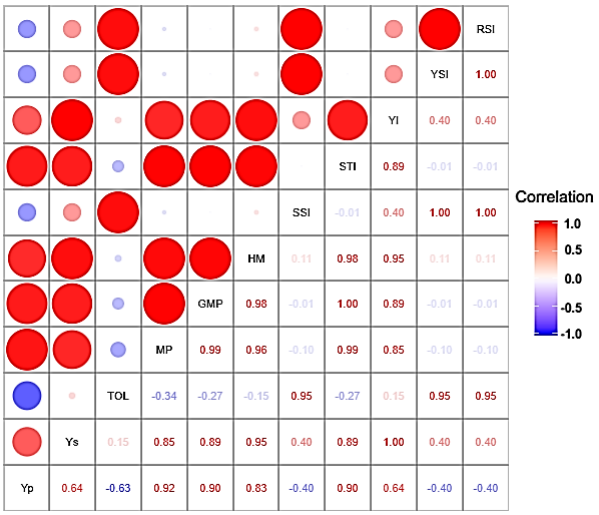
Yp: Grain yield (normal); Ys: Grain yield (salinity stress stress); RC: Yield Reduction Percentage; TOL: Tolerance index; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; SSI: Stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; RSI: Relative stress index; AR: Average of rank; SD: Standard Deviation of Rank

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

در تیمار تنش شوری داشتند، شناخته شدند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G6، G13، G7 و G17 مقادیر بالاتری از STI و YIداشتند (جدول ۵) که نشان دهنده توانایی آنها در حفظ سطح عملکرد نسبتا بالا در شرایط شور است. این شاخص‌ها، به‌ویژه برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های تحت تنش اهمیت دارند، زیرا عملکرد واقعی در شرایط تنش مستقیما در نظر گرفته می‌شود. ژنوتیپ‌های G1، G8 و G4 دارای مقادیر بالاتر YSI و RSIبودند که نشان می‌دهد افت عملکرد کم‌تری را در تیمار تنش شوری داشتند (جدول ۵).

ضرایب همبستگی شاخص‌های تنش با عملکرد دانه نشان داد که عملکرد دانه در تیمار بدون تنش (Yp) همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP، GMP، STIو HM داشت (شکل ۱). این روابط نشان می‌دهد که شاخص‌های یاد شده ارتباط نزدیکی با ظرفیت عملکرد در تیمار بدون تنش داشت. در تیمار تنش شوری نیز، عملکرد دانه (Ys) همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های YI، HM، STI و GMP داشت (شکل ۱).

این شاخص‌ها توانایی بالایی در شناسایی ژنوتیپ‌هایی دارند که علاوه بر برخورداری از عملکرد بالقوه مناسب، عملکرد آنها در شرایط تنش شوری نیز حفظ می‌شود. در مقابل، شاخص TOL ارتباط ضعیف‌تری با عملکرد در تیمار تنش شوری و همبستگی منفی با عملکرد در تیمار بدون تنش داشت (شکل ۱). این نتیجه با ماهیت این شاخص مطابقت دارد، زیرا افزایش TOL لزوما به معنای عملکرد دانه بالاتر نیست و ممکن است در ژنوتیپ‌های پرمحصولی که کاهش مطلق بیشتری در شرایط تنش دارند نیز مقدار بالایی داشته باشد. در مجموع، نتایج همبستگی نشان داد که شاخص‌های GMP، HM و STI بیشترین ارتباط را به‌طور همزمان با عملکرد دانه در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری داشتند و بنابراین برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با الگوی پاسخ عمومی مناسب‌تر هستند. در مقابل، شاخص‌هایی مانند SSI، TOL، YSI و RSIبیشتر برای تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل مفید هستند، اما به‌تنهایی نمی‌توانند نشان دهنده عملکرد بالای واقعی باشند.

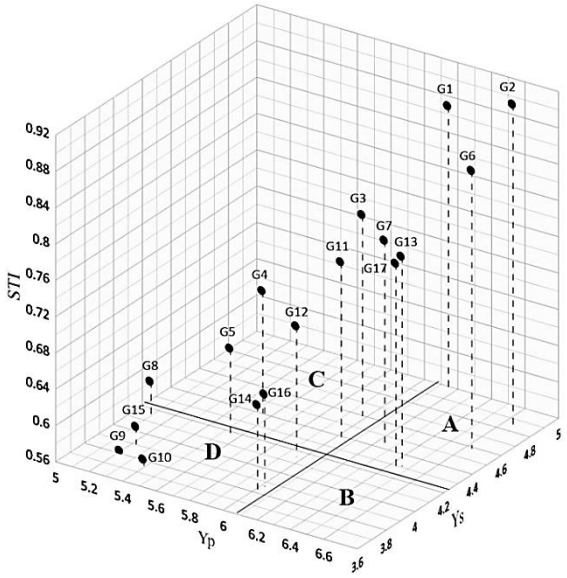


شکل ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو و شاخص‌های تحمل/حساسیت به تنش در تیمارهای بدون تنش (Yp) و تنش شوری (Ys)

Fig. 1. Correlation coefficients between grain yield of barley genotypes and stress tolerance/susceptibility indices under normal (Yp) and salinity stress (Ys) treatments

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو بر اساس عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش و تنش شوری و شاخص STI، نشان دهنده الگوهای متفاوتی از عملکرد و پاسخ به تنش بود (شکل ۲). گروه A شامل ژنوتیپ‌های G1، G2، G6، G7، G13 و G17 بود که عملکرد بالایی در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری داشته و شاخص STIآن‌ها نیز بالا بود. این ژنوتیپ‌ها برترین گزینه‌ها برای کشت در مناطق شور شناخته شدند، زیرا علاوه بر عملکرد دانه مناسب در تیمار بدون تنش، توانایی عملکرد آنها در شرایط تنش شوری نیز حفظ شد. قرار گرفتن این ژنوتیپ‌ها در گروه A نشان دهنده عملکرد ترکیبی مناسب‌تر آن‌ها در هر دو تیمار است، اما به‌تنهایی به معنای تحمل نسبی بالاتر به تنش شوری نیست، زیرا برخی از این ژنوتیپ‌ها، از جمله G13 وG17، کاهش نسبی عملکرد و SSI نسبتا بالایی داشتند. گروه B ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا در تیمار بدون تنش اما عملکرد پائین در تیمار تنش بودند که هیچ یک از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این گروه قرار نگرفتند. گروه C شامل ژنوتیپ‌های G3، G4 و G11 بود که در این گروه قرار گرفتند و نشاه دهنده عملکرد متوسط در تیمار بدون تنش و عملکرد نسبتا مناسب در تیمار تنش شوری است. گروه D شامل ژنوتیپ‌های G5، G8، G9، G10، G14، G15 و G16 بود که عملکرد دانه پائینی در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری بودند و شاخص STI آن‌ها نیز پائین بود. این ژنوتیپ‌ها به‌طور چشمگیری تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفته و کمترین توانایی را در حفظ عملکرد را داشتند. نکته قابل توجه این است که ژنوتیپ G8 اگرچه در گروه D قرار گرفت، اما از نظر درصد کاهش عملکرد و شاخص‌های TOL، SSI، YSI و RSI پاسخ مناسبی داشت. این موضوع نشان می‌دهد که طبقه‌بندی سه‌بعدی عمدتا بر اساس سطح عملکرد و STI انجام می‌شود و الزاما معادل طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل نسبی یا حفظ درصد عملکرد نیست، بنابراین برای انتخاب نهایی ژنوتیپ‌ها، نتایج نمودار سه‌بعدی باید همراه با شاخص‌های کاهش عملکرد و حساسیت به تنش مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲- نمودار پراکنش سه‌بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در تیمارهای بدون (Yp)، تنش شوری (Ys) و شاخص STI

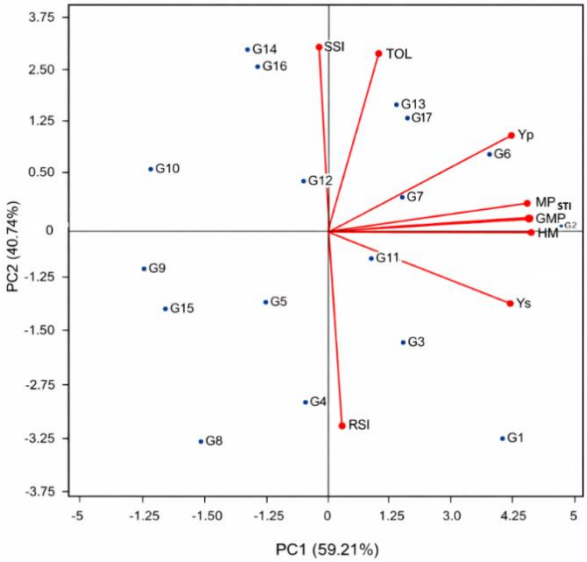
Fig. 2. 3D graph of grain yield of barley genotypes under normal (Yp), salinity stress (Ys) treatments and STI index

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

بر اساس نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی، روابط چندمتغیره میان عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شوری (شکل ۳) دو مؤلفه نخست به‌ترتیب ۵۹/۲ و ۴۰/۷ درصد از واریانس کل را تبیین کرده و در مجموع ۹۹/۹ درصد از تغییرات را پوشش دادند. بنابراین، دو مؤلفه نخست بخش بزرگی از ساختار چندمتغیره داده‌ها را در خود جای داده و برای تفسیر روابط میان ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها مناسب تشخیص داده شدند. بردارهای Yp، MP، GMP و HM در جهت‌های نسبتا نزدیک به یکدیگر قرار داشتند که نشان دهنده همبستگی مثبت آن‌ها است. استقرار این شاخص‌ها در سمت مثبت محور PC1 نشان می‌دهد که PC1 عمدتا بیانگر عملکرد بالقوه و بهره‌وری عمومی ژنوتیپ‌ها است. این آرایش با نتایج تحلیل همبستگی نیز مطابقت داشت و نشان داد که این شاخص‌ها عمدتا اطلاعات مشابهی درباره سطح عملکرد و بهره‌وری ژنوتیپ‌ها در دو تیمار بدون تنش و تنش شوری فراهم می‌کنند. ژنوتیپ‌های G2 و G6 که در جهت این بردارها قرار گرفتند، عملکرد بالایی در تیمار بدون تنش و مقادیر بالایی از شاخص‌های مبتنی بر عملکرد داشتند. بردار Ys نیز در بخش مثبت فضای مؤلفه‌ها قرار گرفت، اما جهت آن با Yp و شاخص‌های MP، GMP و HM کاملا منطبق نبود. این آرایش نشان می‌دهد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در تیمار تنش شوری تنها انعکاس عملکرد ژنوتیپ‌ها در تیمار بدون تنش نیست و برخی از ژنوتیپ‌ها در تیمار تنش شوری رفتار متفاوتی داشتند. ژنوتیپ G1 به‌ویژه در ارتباط با عملکرد دانه در تیمار تنش شوری جایگاه مناسبی داشت که با عملکرد دانه بالای آن در تیمار تنش شوری و کاهش نسبی کم عملکرد نیز مطابقت داشت. بردارهای SSI و TOL عمدتا در راستای محور PC2 و با فاصله زاویه‌ای قابل‌توجه نسبت به بردار Ys قرار گرفتند. این آرایش نشان می‌دهد که این شاخص‌ها بیشتر تغییرات مرتبط با حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش و میزان افت عملکرد را توصیف می‌کنند تا توان واقعی حفظ عملکرد در تیمار تنش شوری. ژنوتیپ‌های G14 و G16 که در جهت مثبت PC2و نزدیک به بردار SSI قرار داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش شوری شناخته شدند که با وجود عملکرد دانه مناسب در تیمار بدون تنش ، افت عملکرد بیشتری را در تیمار تنش شوری داشتند (شکل ۳). بردار RSI در جهت منفی محور PC2 قرار گرفت و زاویه نسبتا بزرگی با Yp و شاخص‌های مبتنی بر عملکرد در تیمار بدون تنش داشت. این الگو نشان می‌دهد که RSIبیشتر نشان دهنده پایداری نسبی عملکرد در شرایط تنش است و همبستگی ضعیف‌تری با پتانسیل عملکرد بالقوه در شرایط بدون تنش دارد. ژنوتیپ‌های G4 و G8 که در نزدیکی بردار RSI قرار داشتند، اگرچه عملکرد مطلق بالایی نداشتند، اما از نظر پایداری نسبی عملکرد در تیمار تنش شوری قابل هستند. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در پژوهش حاضر با گزارش کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2024) مطابقت دارد، به‌طوری‌که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI در یک گروه و با همبستگی مثبت با عملکرد دانه قرار گرفتند، در حالی که شاخص‌های SSI و TOL عمدتا نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش شوری بودند. گزارش شده است که تجزیه به مولفه‌های اصلی قادر است ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را بر اساس شاخص‌های عملکردی و صفات مرتبط با تحمل تنش به‌خوبی تفکیک کند (Abdelghany *et al.*, 2024; Alsamadany *et al.*, 2024). علاوه بر این گزارش شده است که تفاوت در جایگاه ژنوتیپ‌ها در تحلیل‌های چندمتغیره منعکس کننده تنوع ژنتیکی موجود در پاسخ به تنش شوری است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Gharaghanipor et al., 2022). در مجموع نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که شاخص‌های عملکردمحور شامل MP، GMP و HM اطلاعات مشابهی را ارائه می‌دهند، در حالی‌که شاخص‌هایی مانند SSI و TOL بیشتر جنبه حساسیت و میزان افت عملکرد را نشان

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

می‌دهند، بنابراین استفاده همزمان از گروه‌های مختلف شاخص‌ها امکان تفکیک ژنوتیپ‌ها را از دو جنبه عملکرد بالقوه و پاسخ نسبی به تنش فراهم می‌کند.



شکل ۳- نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های جو بر اساس شاخص‌های تحمل/حساسیت به تنش و عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش (Yp) و تنش تنش شوری (Ys) مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم

Fig. 3. Biplot of barley genotypes based on stress tolerance/susceptibility indices and grain yield under normal (Yp) and salinity stress (Ys) treatments based on the first and second principal components

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پاسخ عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو به تنش شوری تحت تأثیر قابل‌توجه ترکیب سال و مکان قرار دارد. معنی‌دار شدن برهمکنش سال و مکان و به‌ویژه ژنوتیپ و سال و مکان در تیمارهای بدون تنش و تنش شوری نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف ثابت نبوده و ارزیابی چندمحیطی برای شناسایی مواد ژنتیکی مناسب مناطق شور ضروری است. تنش شوری باعث کاهش عملکرد کلیه ژنوتیپ‌های جو شد، اما میزان کاهش عملکرد از ۱۹/۲ درصد در ژنوتیپ G1 تا ۳۶/۴ درصد در ژنوتیپ G14 متغیر بود. ژنوتیپ G1 با عملکرد متوسط ۶۱۶۴ کیلوگرم در هکتار در تیمار بدون تنش و ۴۹۷۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار تنش شوری، علاوه بر عملکرد مناسب، کم‌ترین کاهش نسبی عملکرد را داشت و از نظر شاخص‌های TOL، SSI، YSI و RSI نیز پاسخ مناسبی داشت، بنابراین ژنوتیپ G1 در این آزمایش بهترین ترکیب عملکرد و حفظ نسبی عملکرد در شرایط تنش شوری را داشت. ژنوتیپ‌های G8و G4 نیز از نظر کاهش نسبی عملکرد و شاخص‌های حساسیت به تنش، پاسخ مناسبی داشتند، هرچند عملکرد مطلق آن‌ها پایین‌تر از ژنوتیپ G1 بود. ژنوتیپ‌های G2 و G6 عمدتا به دلیل عملکرد نسبتا بالا و عملکرد قابل قبول در تیمار تنش شوری ، جزء ژنوتیپ‌های امیدبخش بودند. ژنوتیپ G2 بیشترین مقادیر MP، GMP و HM را داشت و ژنوتیپ G6 نیز از نظر این شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو تیمار بدون تنش و تنش شوری در رتبه بالایی قرار گرفت، با این حال درصد کاهش عملکرد و SSI نسبتا بالاتر در ژنوتیپ G6 نشان می‌دهد که عملکرد بالا نباید به‌تنهایی به‌عنوان نشانه تحمل به تنش شوری تفسیر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

شـود. ژنوتیپ‌های G13 و G17 با وجود قرار گرفتن در گروه دارای STI و YI نسبتا بالا، کاهش عملکرد بیشتری را در تیمار تنش شوری داشتند و بنابراین بیشتر به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد ترکیبی مناسـب، و نه لزوما متحمل‌تر، قابل توجه هسـتند. نتایج شـاخص‌های تنش نشان داد که GMP، HM و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی بودند که عملکرد مناسبی را در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شـوری داشـتند، در حالی‌که شاخص‌های SSI، TOL، YSI و RSI اطلاعات مکملی درباره میزان کاهش و حفظ نسـبی عملکرد فراهم کردند. همبسـتگی مثبت و معنی‌دار شـاخص‌های GMP، HM و STI با عملکرد دانه در هر دو تیمار بدون تنش و تنش شوری نیز این نتیجه را تأیید کرد.

بر اساس نتایج تحلیل سه‌بعدی مبتنی بر شاخص‌های Yp، Ys و STI، ژنوتیپ‌های G1، G2، G6، G7، G13 و G17در گروه دارای عملکرد ترکیبی مناسـب‌تر قرار گرفتند، اما مقایسه با شاخص‌های حساسیت نشان داد که این گروه‌بندی الزاما نشـان دهنده تحمل نسـبی بیشـتر به تنش شـوری نیسـت. تحلیل مؤلفه‌های اصـلی نیز با تبیین ۹۹/۹ درصـد از تغییرات کل توسـط دو مؤلفه نخسـت، سـاختار چندمتغیره روابط بین عملکرد و شـاخص‌های تنش را نشان داد. نزدیک بودن Yp، MP، GMP و HM نشان دهنده ارتباط این شاخص‌ها با عملکرد و بهره‌وری کلی بود، در حالی‌که SSI و TOL بیشتر بعد حساسیت و افت عملکرد را توصیف کردند.

در مجموع، ژنوتیپ G1 مناسـب‌ترین ژنوتیپ جو از نظر ترکیـب عملکرد، حفظ عملکرد در شـرایط تنش شوری و شاخص‌های تحمل نسبی بود. ژنوتیپ‌های G2 و G6 نیز به دلیل عملکرد بالا و عملکرد قابل قبول در تیمـار تنش شـوری، ژنوتیـپ‌هـای امیـدبخشـی برای ارزیابی‌های بعدی محسوب می‌شوند. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و سـال و مکان، توصـیه نهایی برای معرفی هر ژنوتیپ بایـد بر اسـاس آزمایش‌های چندسـاله و چندمحیطی گسـترده‌تر و در دامنه‌های مختلف تنش شـوری انجام شـود. بر اساس نتایج تحقیق حاضـر، انتخاب همزمان بر اسـاس عملکرد واقعی در شـرایط تنش شـوری، میزان حفظ عملکرد نسـبت به شرایط بدون تنش و مجموعه‌ای از شاخص‌های مکمل، راهبرد مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های امیدبخش جو برای محیط‌های شور محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

این مقـاله از داده‌هـای پروژه تحقیقـاتی شـماره ۰۲۰۷۶۹-۰۶۸-۰۳-۰۳-۰ مصـوب مؤسـسـه تحقیقات اصـلاح و تهیه نهال و بذر اسـتخراج شـده اسـت. بدین‌وسیله از مساعدت همکاران ایستگاه‌های تحقیقاتی بیرجند، یزد و اصفهان بابت اجرای آزمایشات تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Abdelghany, A.M., Lamlom, S.F. and Naser, M., 2024. Dissecting the resilience of barley genotypes under multiple adverse environmental conditions. *BMC Plant Biology*, *24*: 16. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04704-y

Alsamadany, H., Abdulbaki, A.S. and Alzahrani, Y., 2024. Unravelling drought and salinity stress responses in barley genotypes: physiological, biochemical, and molecular insights. *Frontiers in Plant Science*, *15*: 1417021. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1417021

Anonymous. 2025. Agricultural Statistics of 2023-2024 Cropping Season. Ministry of Agriculture-Jahad, Vol. 1. [In Persian].

Barati, A., Tabatabaei, S.A., Mahlooji. M. and Saberi, M.H., 2018. Assessment of grain yield stability of barley

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

(*Hordeum vulgare* L.) promising lines under salinity stress using non-parametric and AMMI analysis methods. *Iranian Journal of Crop Sciences, 20*(3), pp.209-221. [In Persian]. URL: http://agrobreedjournal.ir/article-1-941-fa.html

Bouhraoua, S., Ferioun, M., Boussakouran, A., Belahcen, D., Hammani, K. and Louahlia, S., 2025. Comprehensive screening and evaluation of diverse Mediterranean barley genotypes for salt tolerance using multiple agro-morphological and tolerance indices criteria. *Reproduction and Breeding 5*(4), pp.171–179. https://doi.org/10.1016/j.repbre.2025.09.002

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

Dehghani, H., Ebadi, A. and Yousefi, A., 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal, 98*(2), pp.388-393. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0310

Elakhdar, A., El-Naggar, A.A., El-Wakeell, S. and Ahmed, A.H., 2025. Integrating univariate and multivariate stability indices for breeding climate-resilient barley cultivars. BMC PLANT BIOLOGY, *25*, 76. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05530-6

FAO. 2023. Global map of salt-affected soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: https://www.fao.org

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. Tainan, Taiwan. https://doi.org/10.22001/wvc.72511

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. https://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

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

Gharaghanipor, N., Arzani, A., Rahimmalek, M. and Ravash, R., 2022. Physiological and transcriptome indicators of salt tolerance in wild and cultivated barley. *Frontiers in Plant Science*, *13*: 819282. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819282

Ghonaim, M.M., Attya, A.M., Aly, H.G. Mohamed, H. and Omran, A.A.A., 2023. Agro-morphological,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

biochemical, and molecular markers of barley genotypes grown under salinity stress conditions. BMC PLANT BIOLOGY, *23*, 526. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04550-y

Hammami, Z., Jallouli, S., Ayadi, S. and Trifa, Y., 2025. Impact of soil and climate on barley (HORDEUM VULGARE L.) salinity tolerance in diverse arid and saline conditions. SCIENTIFIC REPORTS, *16*(1), 869. https://doi.org/10.1038/s41598-025-30584-3

Hammami, Z., Jallouli, S., Ayadi, S. and Trifa, Y., 2026. Impact of soil and climate on barley (*Hordeum vulgare* L.) salinity tolerance in diverse arid and saline conditions. *Scientific Reports*, *16*, 869. https://doi.org/10.1038/s41598-025-30584-3

Hussain, M.I., Al-Dakheel, A.J., Chaudhry, U.K., Khan, M.I., ALHaithloul, H.A.S., Alghanem, S.M. and Alaklabi, A., 2022. Morpho-physiological response of barley to assess genotypic differences of salinity tolerance under hyper arid climate. *Agricultural Water Management*, *272*, 107832. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107832

Kumar, Y., Devi, S., Phougat, D., Chaurasia, H. and Choudhary, S., 2024. Assessment of barley genotypes for salinity tolerance based on various indices under field condition. *Current Agriculture Research Journal*, *12*(2), pp.395-408. http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.12.2.08

Mansour, E., Moustafa, E.S.A., Abdul-Hamid, M.I.E., Ash-shormillesy, S.M.A.I., Merwad, A.R.M.A., Wafa, H.A. and Igartua, E., 2021. Field responses of barley genotypes across a salinity gradient in an arid Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, *258*: 107206. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107206

Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H., Mehrvar, M.R., Asadi, A. and Amini A., 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. BULLETIN OF THE NATIONAL RESEARCH CENTRE, *45*, 117. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P. and Siddique, K.H.M., 2019. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. APPLICATIONS IN PLANT SCIENCES, *7*(7), e11278. https://doi.org/10.1002/aps3.11278

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

Roy, S.J., Negrão, S. and Tester, M., 2014. Salt resistant crop plants. CURRENT OPINION IN BIOTECHNOLOGY, *26*, pp.115-124. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004

Rukhsar, A., Urien, E.Z., Kanbar, O., Mahmoudi, H., Yousfi, S., Araus, J.L. and Serret, M.D., 2026. Salt-tolerant barley ideotypes for hot arid zones: Genotypic versus salinity effects on yield, grain quality and physiological traits. *Agricultural Water Management*, *332*, 110469. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2026.110469

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T. and Dorii, M., 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]

45, pp.500-511. https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019

Yan, W. and Kang, M.S., 2003. GGE BIPLOT ANALYSIS: A GRAPHICAL TOOL FOR BREEDERS, GENETICISTS AND AGRONOMISTS. CRC Press, Boca Raton, USA. https://doi.org/10.1201/9781420040371

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-10-17]