Plant Prod., 2026, 49(1), 23- 44
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49150.2257
Received: 06 June 2025
Accepted: 15 October 2025

Plant Productions

Research Article

Multi-traits selection for agronomic performance in genotypes of barley under drought stress conditions

Mansoor Jafari Zare[1], Ali Asghari[1], Hassan Zali*[2], Omid Sofalian[1], Alireza Pour-Aboughadareh[3]

1. Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
3. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Citation: Jafari Zare, M., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., Pour-Aboughadareh, A. (2026). Multi-traits selection for agronomic performance in genotypes of barley under drought stress conditions. *Plant Productions*, 49(1), 23- 44.

Abstract

Introduction

Barley is a key cereal crop known for its broad adaptability to diverse environmental conditions, particularly abiotic stresses such as drought, salinity, and low temperatures. In semi-arid regions, barley cultivars are exposed to drought stress during critical growth stages, which can significantly affect productivity. Given the importance of selecting suitable cultivars for these environments, this study aims to evaluate barley cultivars based on their morphological and phenological traits, and to identify the characteristics most closely associated with grain yield, in order to determine the best-performing cultivars under drought conditions.

Materials and Methods

In this experiment, 17 promising barley genotypes, along with four control genotypes, were evaluated under two conditions: non-stress irrigation and terminal drought stress, during the 2022–2024 growing seasons. The study was conducted using a randomized complete block design with three replications at the Darab Agricultural and Natural Resources Research Station. The multi-trait genotype–ideotype distance index (MGIDI) and multi-trait stability index (MTSI) was used to identify superior genotypes based on grain yield and other measured traits. The evaluated traits included number of days to heading (DHE), number of days to maturity (DMA), plant height (PLH), grain filling period (GFP), grain filling rate (GFR), thousand grain weight (TGW), grain yield (YLD), number of grains per spike (NGS), spike harvest index (SHI), spike fertility index (SFIm), and spike weight (SPW).

* **Corresponding Author:** Hassan Zali
E-mail: hzali90@yahoo.com

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Results and Discussion

The combined analysis of variance for the studied traits indicated that the effects of environment, genotype, and genotype × environment interaction were significant for all examined traits. The environment was the primary source of variation for DHE, DMA, GFR, TGW, and YLD, whereas genotypic effects were the main source of variation for PLH, GFP, NGS, SFIm, and SPW. Factor analysis within each environment and across all environments revealed a strong association between YLD and traits such as GFP, GFR, SHI, and SFIm. Indirect selection based on these traits under both non-stress and drought stress conditions may improve grain yield in barley genotypes. Based on the MGIDI index under non-stress conditions (2022–2024), genotypes G16, G2, G20, and G1 outperformed the others, while under drought stress conditions, genotypes G16, G18, G10, and G14 were identified as superior. According to the MTSI index across all environments, genotypes G5, G8, and G3 were among the most stable for the studied traits. Under non-stress conditions, the selection differential was positive for all traits except DHE, with the highest values observed for YLD (12.6), SFIm (8.64), and GFP (8.19), indicating the effectiveness of the MGIDI method in selecting high-yielding genotypes with desirable agronomic traits. In contrast, under drought stress conditions, the selection differential was negative for DHE, DMA, and PLH, while the highest values were recorded for SFIm (13.90), YLD (10.7), and GFR (9.35). This suggests that the method is effective in selecting early-maturing genotypes with high grain yield, grain filling rate, and spike fertility index under drought stress. Across all environments and under both conditions over the two-year study period, the greatest genetic gains were observed for grain yield, grain filling rate, and spike fertility index, indicating successful identification of genotypes with high yield potential, efficient grain filling, and improved spike fertility.

Conclusion

Overall, the results indicated that the selected genotypes under non-stress conditions (G16, G2, G20, and G1) exhibited a favorable combination of traits, including a long grain filling period, high grain filling rate, high grain yield, a high number of grains per spike, a high spike fertility index, and consequently high spike weight. In contrast, the genotypes selected under drought stress conditions (G16, G8, G10, and G14) were characterized by a long grain filling period, high grain yield, and a high spike fertility index. Therefore, these genotypes can be considered potential candidates for cultivation under both non-stress and terminal drought stress conditions. Notably, genotype G16 was selected under both conditions, indicating its superior performance and adaptability, and it can be introduced as a leading genotype. Furthermore, based on the MTSI index, genotype G3 was identified as one of the most stable genotypes, with grain yield exceeding the overall mean.

Keywords: Agronomic traits, MGIDI index, MSTI index, Selection differential, Yield stability

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۱)، ۲۳-٤٤
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49150.2257
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

انتخاب چند صفتی برای عملکرد زراعی در ژنوتیپ‌های جو تحت شرایط تنش خشکی

منصور جعفری زارع[۱]، علی اصغری[۱]، حسن زالی[۲*]، امید سفالیان[۱]، علیرضا پورابوقداره[۳]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
۳- مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

جو یکی از گیاهان زراعی مهم خانواده غلات با دامنهٔ سازگاری وسیع به تنش‌های محیطی است. در این پژوهش، ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش جو به‌همراه ٤ ژنوتیپ شاهد در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهای فصل طی دو سال زراعی ۱٤۰۳–۱٤۰۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب بررسی شدند. به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و صفات مرتبط، از شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI) و شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثرات محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات معنی‌دار بود. محیط منبع اصلی تنوع برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله (DHE)، تعداد روز تا رسیدگی (DMA)، سرعت پر شدن دانه (GFR)، وزن هزار دانه (TKW) و عملکرد دانه (YLD) بود، در حالی که برای صفات ارتفاع بوته (PLH)، دورهٔ پر شدن دانه (GFP)، تعداد دانه در سنبله (NGS)، شاخص باروری سنبله (SFLm) و وزن خوشه (SPW)، اثرات ژنوتیپی نقش اصلی را داشتند. نتایج تجزیه به عامل‌ها در هر محیط و در کل محیط‌ها نشان داد ارتباط نزدیکی بین YLD، GFP، GFR، SHI (شاخص برداشت سنبله) و SFLm وجود دارد و انتخاب غیرمستقیم از طریق این صفات می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی شود. بر اساس شاخص MGIDI، در شرایط بدون تنش (۱٤۰۳–۱٤۰۱) ژنوتیپ‌های G16، G2، G20 و G1 برتر بودند و در شرایط تنش خشکی (۱٤۰۳–۱٤۰۱) ژنوتیپ‌های G16، G18، G10 و G14 به‌عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل شناسایی شدند. همچنین بر اساس شاخص MSTI، ژنوتیپ‌های G5، G8 و G3 در تمامی محیط‌ها از نظر تعدادی از صفات مورد بررسی، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در شرایط بدون تنش، دیفرانسیل انتخاب برای تمام صفات به‌جز DHE مثبت بود و بیشترین مقادیر آن به‌ترتیب مربوط به YLD(۱۲/٦)، SFLm (۸/٦٤) و GFP (۸/۱۹) بود که کارایی روش MGIDI را در انتخاب ژنوتیپ‌های پُربازده و دارای صفات زراعی مطلوب نشان می‌دهد. در شرایط تنش خشکی، دیفرانسیل انتخاب برای DHE، DMA و PLH منفی بود و بیشترین مقادیر به‌ترتیب مربوط به SFLm (۱۳/۹۰)، YLD (۱۰/۷) و GFR (۹/۳۵) بود که نشان می‌دهد این روش در انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس، با عملکرد بالا، سرعت بالای پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله بالا در شرایط تنش خشکی مؤثر است. در همهٔ محیط‌های مورد بررسی، همچنین در شرایط تنش خشکی و بدون تنش طی دو سال، بیشترین درصد پیشرفت حاصل از انتخاب مربوط به صفات عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله بود. این نتایج نشان‌دهندهٔ شناسایی

نویسنده مسئول: حسن زالی
رایانامه: hzali90@yahoo.com

ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل بالای عملکرد، سرعت مناسب پر شدن دانه و بهبود شاخص باروری سنبله است. در مجموع، نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط بدون تنش (G16، G2، G20 و G1) دارای صفاتی مانند طول و سرعت بالای پر شدن دانه، عملکرد بالا، تعداد دانه بیشتر در سنبله و شاخص باروری و وزن بالای سنبله بودند. در شرایط تنش خشکی (G16، G8، G10 و G14) نیز ژنوتیپ‌ها عمدتاً دارای عملکرد بالا، طول دورهٔ پر شدن مناسب و شاخص باروری سنبله بالا بودند. ژنوتیپ G16 در هر دو شرایط برتر بود و به‌عنوان ژنوتیپ منتخب اصلی معرفی شد. همچنین بر اساس شاخص MSTI، ژنوتیپ G3 پایدارترین ژنوتیپ با عملکرد بالاتر از میانگین کل شناخته شد.

کلید واژه‌ها: پایداری عملکرد، دیفرانسیل گزینش، شاخص MGIDI، شاخص MSTI، صفات زراعی

مقدمه

جو زراعی (*Hordeum vulgar* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان اهلی شده است که با توجه به موارد استفاده زیاد آن در تغذیه انسان و دام و صنایع تبدیلی یکی از مهم‌ترین گیاهان خانوادهٔ غلات می‌باشد (Martínez-López *et al.*, 2002). جو دامنهٔ سازگاری وسیعی به انواع شرایط محیطی و تنش‌های غیرزیستی، به‌ویژه خشکی، شوری و سرما دارد (Vaezi *et al.*, 2017). در مناطقی از نواحی خشک که بارندگی برای تولید گندم کافی نیست، جو می‌تواند جایگزین گندم شود (Zali *et al.*, 2023a).

رشدونمو گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه-خشک به‌طور عمده تحت تأثیر انواع مختلف تنش‌های غیرزیستی مانند دماهای بالا، خشکی و شوری قرار می‌گیرد (Salehi *et al.* 2023). تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیرزیستی، تولید و بهره‌وری محصولات زراعی را در سراسر جهان محدود می‌کند و به‌طور قابل-توجهی بر امنیت غذایی جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر می‌گذارد (Mohammadi and Geravandi, 2024). بسیاری از نقاط جهان از سطوح پایین رطوبت خاک رنج می‌برند که رشد و نمو گیاهان را محدود می‌کند.

تحمل به تنش خشکی یک پدیدهٔ پیچیده است که توسط ژن‌های زیادی کنترل می‌شود و یکی از دشوارترین صفات برای مطالعه، توصیف و بهبود می‌باشد (Elakhdar *et al.*, 2022). درک پاسخ‌های مختلف مورفولوژیک، زراعی و فیزیولوژیک به تنش خشکی، ممکن است تحمل به خشکی را در غلات (Shirvani *et al.*, 2023) و جو (Elakhdar *et al.*, 2022) بهبود بخشد. علاوه بر این، مدیریت‌های مختلف زراعی و توسعهٔ ارقام جدید برای مقابله با چالش‌های اصلی سازگاری محصولات زراعی به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی توصیه می‌شود (Yang *et al.*, 2021). بنابراین، استفاده از روش‌هایی که ضمن در نظر گرفتن میزان سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها، قادر به شناسایی برترین آن‌ها در شرایط مختلف محیطی باشند، اهمیت دارد. همچنین، رویکردهای به نژادی متعددی برای بهبود تحمل به خشکی در گیاهان زراعی به‌کار گرفته شده‌اند که بر ادغام ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های متحمل تکیه دارند (Chowdhury *et al.*, 2021). به-عنوان مثال، برای ارزیابی مزرعه‌ای ژرم‌پلاسم‌ها، از صفات مختلف مورفولوژیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک توسط مؤسسات بین‌المللی ICARDA و CIMMYT و شرکای ملی آن‌ها در سراسر جهان استفاده شده است که نقش مهمی در سازگاری یک محصول خاص به شرایط محیطی در حال تغییر ایفا می‌کنند. در میان این صفات، تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه از جمله صفات توصیه‌شده برای ارزیابی مزرعه‌ای ژرم‌پلاسم‌ها هستند (Oraki *et al.*, 2016; Gerard *et al.*, 2020).

بهرهٔ ژنتیکی جزء مهمی در به نژادی گیاهی است و از این‌رو، نقش کلیدی در توسعهٔ برنامه‌های به‌نژادی ایفا می‌کند. درعین‌حال، انتخاب بر اساس یک صفت مناسب‌ترین راهبرد نیست. زیرا، هیچ اطمینانی از دستاوردهای ژنتیکی در سایر صفات مهم وجود ندارد (Jahufer and Casler, 2015). از این‌رو، به نژادگران اغلب سعی می‌کنند صفات مطلوب مختلف را در یک ژنوتیپ جدید جمع‌آوری کنند که منجر به عملکرد بالا شود (Olivoto and Nardino, 2020). برای این منظور، چندین شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)[۱] (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2023b)، شاخص پایداری چند صفتی (MTSI)[۲] (Olivoto *et al.*, 2019)، شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI)[۳] (Olivoto and Nardino, 2020) اشاره کرد.

تجزیهٔ آزمایش چندمحیطی، در بیشتر موارد تنها بر اساس یک صفت واحد مانند عملکرد دانه انجام می‌شود. بااین‌حال، قابلیت اطمینان در توصیهٔ ژنوتیپ‌ها با در نظر گرفتن چندین صفت افزایش می‌یابد. برای این منظور، به تازگی تکنیکی برای تجزیه و تحلیل آزمایشات چندمحیطی توسط اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019) معرفی شده است که امکان ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات متعدد را در یک شاخص واحد، یعنی شاخص MTSI فراهم می‌کند و می‌تواند فرآیند انتخاب منحصر به فردی را ارائه دهد.

شاخص MTSI یک تکنیک مفید برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات متعدد است. زیرا، فرآیند انتخاب قوی و ساده‌ای را ارائه می‌دهد (Olivoto *et al.*, 2019). این روش با موفقیت برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در محیط‌های متغیر در چندین گونه زراعی استفاده شده است (Zuffo *et al.*, 2020; Sellami *et al.*, 2021; Olivoto and Nardino, 2021; Yue *et al.*, 2022; Norman *et al.*, 2022).

این مطالعه به‌منظور ارزیابی ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش جو در طی دو سال زراعی و در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل به‌منظور (۱) شناسایی صفات پایداری مرتبط با میانگین عملکرد و (۲) شناسایی ژنوتیپ‌هایی برتر در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تعدادی از ژنوتیپ‌های امیدبخش جو (جدول ۱) از نظر عملکرد دانه و تعدادی از صفات مورفوفنولوژیک، آزمایشی با ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش به‌همراه چهار ژنوتیپ شاهد (اکسین، گلچین، نوروز و WB-99-10) در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل (قطع آبیاری در مرحلهٔ ظهور سنبله) طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱ انجام شد. در واقع در این آزمایش ژنوتیپ‌ها در چهار محیط مورد ارزیابی قرار گرفتند. محیط‌ها شامل E1: شرایط بدون تنش (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E2: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E3: شرایط بدون تنش (۱۴۰۳-۱۴۰۲) و E4: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۳-۱۴۰۲) بودند. در هر محیط آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد.

آزمایش در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در محدوده جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی در جنوب شرقی استان فارس اجرا شد. این منطقه در استان فارس با آب و هوای گرم و خشک با متوسط بارندگی ۲۸۵ میلی‌متر برخوردار بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۸۰ متر است.

در همهٔ آزمایش‌ها، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در پانزدهم آذر ماه در شش خط به‌طول پنج متر (مساحت شش مترمربع) و تراکم ۳۰۰ دانه در متر مربع با استفاده از دستگاه بذرکار آزمایشی غلات (Wintersteiger, Austria) کشت شدند. برای آبیاری از سیستم قطره‌ای نواری (تیپ) استفاده شد. کود فسفر از منبع دی آمونیوم فسفات و کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم به‌ترتیب با مقادیر ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه و پیش از

۱- Selection index of ideal genotype
۲- Multi-trait stability index
۳- The multi-trait genotype-ideotype distance index

کاشت به خاک اضافه شد. کود ازت از منبع اوره به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و در دو نوبت اوایل پنجه‌زنی و انتهای مرحلهٔ ساقه رفتن به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. مبارزه با علف-های هرز پهن برگ و باریک برگ به‌ترتیب با استفاده از علف-کش‌های انتخابی توفوردی و اکسیال انجام شد.

برای برآورد عملکرد دانه پس از حذف حاشیه، برداشت همهٔ کرت (۶ متر مربع) با استفاده از کمباین آزمایشی غلات (Wintersteiger, Austria) انجام شد و پس از توزین، عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار ثبت گردید. صفات مورفوفنولوژیک مورد بررسی شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، طول دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، وزن خوشه، شاخص باروری سنبله، شاخص برداشت سنبله و عملکرد دانه بود. اطلاعات هواشناسی دو سال زراعی اجرای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

به‌منظور انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی از شاخص MGIDI و برای تجزیهٔ پایداری از شاخص MSTI استفاده شد.

برای محاسبه شاخص MGIDI ابتدا باید مقیاس صفات تغییر کند. X_{ij} یک جدول دو طرفه با i ردیف یا ژنوتیپ و j ستون یا صفت می‌باشد. مقدار تغییر مقیاس یافته برای ردیف i و ستون j (rX_{ij}) به‌صورت رابطهٔ ۱ محاسبه شد:

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj}-\varphi_{nj}}{\eta_{oj}-\varphi_{oj}} \times \left(\theta_{ij} - \eta_{oj}\right) + \eta_{nj}$$ رابطهٔ (۱)

φ_{oj} و η_{oj} به‌ترتیب مقادیر اصلی حداقل و حداکثر برای صفت j هستند. φ_{nj} و η_{nj} به‌ترتیب مقادیر جدید حداقل و حداکثر برای صفت j پس از تغییر مقیاس هستند و θ_{ij} مقدار اصلی برای صفت jام از ژنوتیپ iام است. برای تغییر مقیاس مقادیر، η_{nj} و φ_{nj} به‌صورت زیر محاسبه شدند: برای صفاتی که در آن‌ها مقدار بالا مورد نظر است، φ_{nj} برابر با صفر و η_{nj} برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در حالی‌که، برای صفاتی که در آن‌ها مقدار پایین مورد نظر است، φ_{nj} برابر با ۱۰۰ و η_{nj} برابر با صفر در نظر گرفته شد. در جدول دو طرفه تغییر مقیاس یافته (rX_{ij})، هر ستون دارای محدوده ۰-۱۰۰ است که مفهوم انتخاب مورد نظر (افزایش یا کاهش) را در نظر می‌گیرد و ساختار همبستگی مجموعه اصلی متغیرها را حفظ می‌کند.

در مرحلهٔ بعد، تحلیل عاملی (FA) برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط بر اساس رابطه ۲ انجام شد:

$$F = Z(A^{T}R^{-1})^{T}$$ رابطه (۲)

که در آن F یک ماتریس $g \times f$ با مقادیر عامل‌ها است، Z یک ماتریس $g \times p$ با میانگین استاندارد شده (تغییر مقیاس-یافته) است، A یک ماتریس $p \times f$ از بارگذاری متعارف است و R یک ماتریس همبستگی $p \times p$ بین صفات است. علاوه بر این g، f و p به‌ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها، عامل‌های باقی‌مانده (عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها از یک بیش‌تر است) و شاخص‌های محاسبه شده را نشان می‌دهند.

طبق تعریف معادله (۱)، ایدئوتیپ (ژنوتیپ ایده‌آل) دارای بالاترین مقدار تغییر مقیاس (یعنی ۱۰۰) برای همه صفات مورد بررسی است. بنابراین، ایدئوتیپ را می‌توان با یک بردار I $[1\times p]$ تعریف کرد. به‌طوری‌که، I برابر ۱۰۰، ۱۰۰، ...، ۱۰۰ باشد. نمرات I نیز بر اساس رابطهٔ (۲) تخمین زده شدند.

در مرحلهٔ آخر، فاصلهٔ اقلیدسی بین نمرات ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ایده‌آل به‌عنوان شاخص MGIDI با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه شد:

$$MGIDI = \sum_{i=1}^{f}\left[(\gamma_{ij} - \gamma_{j})^{2}\right]^{0.5}$$ رابطهٔ (۳)

γ_{ij} امتیاز i امین ژنوتیپ در فاکتور j ام است ($i = 1,2,\ldots,t; j = 1,2,\ldots,f$) که t و f به‌ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها و عامل‌ها و γ_j نمره jام ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد. ژنوتیپ‌هایی با کم‌ترین مقدار MGIDI به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند و بنابراین مقادیر مطلوب را برای همهٔ شاخص‌های محاسبه‌شده نشان می‌دهد. دیفرانسیل انتخاب برای همهٔ صفات با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۲۰ درصد انجام شد.

شاخص MSTI براساس چند صفت با استفاده از نمرات به‌دست آمده از یک تجزیه عامل بر طبق رابطهٔ ۴ انجام شد (Olivoto et al., 2019):

$$MSTI_{i} = \left[\sum_{j=1}^{f}(F_{ij} - F_{j})^{2}\right]^{0.5}$$ رابطهٔ (۴)

در رابطهٔ ۴، F_{ij} نمره ژام، F_j نمره ژام ژنوتیپ ایده‌آل است. ژنوتیپ‌هایی با کم‌ترین مقدار MSTI به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند.

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS شد. لازم به توضیح می‌باشد در این تحقیق اثر محیط (ترکیب سال و تنش) تصادفی و اثر ژنوتیپ ثابت فرض شد. برای محاسبه شاخص MGIDI و MSTI از بستهٔ تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (metan) در محیط برنامه‌نویسی R استفاده شد (Olivoto and Nardino, 2020).

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های مورد بررسی جو در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۱.

Table 1. Pedigree of examined barley genotypes in the 2022-2024 cropping years

Genotypes code	Pedigree of genotypes
G1	Oxin (Check)
G2	Golchin (Check)
G3	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/ Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G4	Yousef/3/Legia//Rhn/Lignee 527
G5	Anoidium/Arbayan-01/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63/4/MBD-82-9(D10)
G6	GOB/ALELI//CANELA/3/ARUPO*2/JET/4/ARUPO/K8755//MORA/5/Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G7	Kavir/Badia/3/Torsh/9cr.279-07//Bgs/4/Karoon/Kavir/5/Nik/6/ ojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G8	ICNB-105960/Torkman//Nosrat/3/Bda/Rhn-03//ICB-107766
G9	Legia//Rhn/Lignee 527/3/Rhn03/4/Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G10	M104/PFC 88210//DOÑA JOSEFA
G11	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
G12	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/Nosrat
G13	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/Nosrat
G14	Beecher/Kavir
G15	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Comp 89-9Cr-79-
G16	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Rhn-03//Lignee527/As45
G17	Bgs/Dajia//L.1242/3/L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//..../4/Kavir
G18	Bgs/Dajia//L.1242/3/L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//..../4/Kavir
G19	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Bereke-54
G20	WB-99-10 (Check)
G21	Norooz (Check)

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل آزمایش (۱۴۰۳-۱۴۰۱).

Table 2. Meteorological information of the experiment site (2022-2024).

Year	Month	Temperature (° C)				Air humidity (%)		Precipitation (mm)
		Min	Max	Mean	Dew point	Min	Max	
1401	7	15.63	29.37	23.33	2.97	8.77	29.27	0
1401	8	11.10	22.17	16.97	5.80	24.03	56.97	33
1401	9	5.40	16.23	11.50	2.07	27.63	60.77	8
1401	10	1.50	10.73	6.77	2.33	42.03	78.33	120
1401	11	3.50	12.70	8.63	3.30	40.77	76.07	68
1401	12	8.31	20.00	14.55	2.69	22.66	62.17	14
1402	1	9.77	22.35	16.84	2.81	16.94	56.23	0
1402	2	15.61	29.06	23.19	2.00	10.68	34.97	0
1402	3	21.61	35.26	29.48	7.97	8.90	31.58	0
1402	4	24.68	38.23	32.35	13.55	7.87	29.06	0
1402	5	23.00	36.16	30.45	14.71	8.90	33.87	1
1402	6	22.52	35.32	29.61	15.45	10.16	28.23	0
1402	7	16.93	30.17	24.30	7.17	11.30	32.67	0
1402	8	10.87	21.40	16.87	6.17	25.53	60.13	23
1402	9	5.03	16.53	11.37	0.60	25.00	59.07	7
1402	10	4.43	15.27	10.50	-1.20	25.10	59.63	0
1402	11	4.30	14.77	10.03	0.63	28.53	65.80	40
1402	12	5.10	16.59	11.45	0.55	25.86	67.83	72
1403	1	9.68	20.06	15.35	8.52	31.84	73.48	133
1403	2	13.61	24.84	20.00	11.10	26.16	64.52	47
1403	3	21.29	35.19	29.39	5.84	7.42	26.45	0

نتایج و بحث

تجزیه واریانس، اجزای واریانس و عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد مطالعه نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط برای همه صفات ثابت کرد که عملکرد صفات ژنوتیپ‌ها به‌شدت تحت‌تأثیر شرایط محیطی مختلف قرار گرفته است. محیط منبع اصلی تنوع برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، سرعت پر شدن دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بود. برای صفات ارتفاع بوته، دورهٔ پر شدن دانه، تعداد دانه در سنبله، شاخص باروری سنبله و وزن سنبله منبع اصلی تغییرات اثرات ژنوتیپی بود که نشان از تنوع ژنتیکی بالای این صفات می‌باشد (شکل ۱).

نتایج نشان داد که دامنه تغییرات عملکرد دانه ۲۱ ژنوتیپ جو مورد بررسی بین ۱۸۰۲ تا ۸۰۷۵ کیلوگرم در هکتار است. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه در طول چهار محیط به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G4 (۵۷۶۴ کیلوگرم در هکتار) و G12 (۲۸۶۵ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین میانگین عملکرد دانه مربوط به سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و در شرایط بدون تنش بود و کمترین میانگین عملکرد دانه مربوط به سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و در شرایط تنش خشکی بود (نتایج ارائه نشده است).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورفوفنولوژیک ژنوتیپ‌های جو در چهار محیط و سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱.

Table 3. Combined variance analysis of morphophenological traits in barley genotypes in four environments and in the 2022-2024 croppins years.

S.O.V	df	Mean of square					
		DHE	DMA	PLH	GFP	GFR	TKW
Environment (E)	3	3218**	3829**	2969**	120.7**	84341**	1655**
Error 1	8	1.87	2.78	48.6	3.36	137.8	3.14
Genotype (G)	20	50.7**	86.83**	1182**	39.83**	3243**	162.9**
G × E	60	4.7**	6.09**	100.4**	7.41**	723**	9.84**
Error 2	160	1.48	2.07	42.83	2.79	298.8	3.99
CV (%)		1.27	1.07	6.39	4.32	14.78	4.65
$LSD_{0.05}$		0.98	1.16	5.27	1.35	13.94	1.61

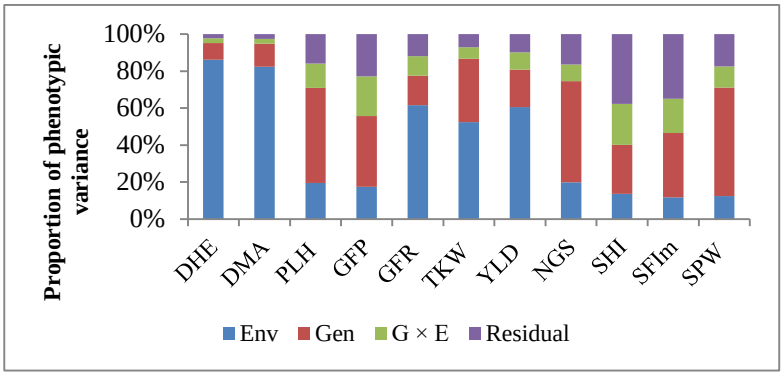
		YLD	NGS	SHI	SFLm	SPW
Environment (E)	3	148302573**	2426**	0.0086**	58767**	4.36**
Error 1	8	269630	60.11	0.0011	7408	0.17
Genotype (G)	20	7417451**	1001**	0.0025*	26369**	3.08**
G × E	60	1155610**	54.8*	0.0007*	4650*	0.2**
Error 2	160	432987	34.3	0.00039	2923	0.106
CV (%)		14.45	12.84	2.16	22.55	13.89
$LSD_{0.05}$		530.5	4.72	0.016	43.6	0.26

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دورهٔ پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیرمعنی‌دار

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

*, ** and ns are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant, respectively.



شکل ۱- نسبت واریانس فنوتیپی صفات مورد بررسی ۲۱ ژنوتیپ جو در چهار محیط

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW : وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

Figure 1. Proportion of the phenotypic variance for investigated traits of 21 barley genotypes across four environments

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight

تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای ۱۱ صفت مورفوفنولوژیک در چهار محیط E1: شرایط بدون تنش (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E2: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E3: شرایط بدون تنش (۱۴۰۳-۱۴۰۲)، E4: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۳-۱۴۰۲) نشان داده شده است. در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط بدون تنش (محیط E1)، سه عامل شناسایی شد که ۸۲/۰ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه کرد. عامل اول تحت تأثیر صفات دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله به‌طور منفی و تعداد روز تا رسیدگی به‌طور مثبت بود و ۴۶/۸ درصد تنوع فنوتیپی صفات را تبیین نمود. عامل دوم به‌طور منفی بیشتر تحت تأثیر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن خوشه بود و ۲۲/۷ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. وزن هزار دانه به‌طور منفی و ارتفاع بوته به‌طور مثبت عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۲/۶ درصد را توجیه نمودند. مقدار اشتراک بین ۰/۵۲ برای صفت وزن هزار دانه تا ۰/۹۵ برای وزن سنبله بود (جدول ۴).

در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط تنش خشکی (محیط E2)، چهار عامل که ۸۷/۱ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه نمودند، شناسایی شد. عامل اول تحت تأثیر منفی صفات سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله بود و ۳۰/۵ درصد از تنوع فنوتیپی صفات را تبیین کرد. عامل دوم با تبیین ۲۹/۴ درصد از تغییرات کل، تحت تأثیر صفات دورهٔ پر شدن دانه و تعداد روز تا رسیدگی بود. صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۶/۴ درصد از تغییرات کل را تبیین کردند. عامل چهارم بیشتر تحت تأثیر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و وزن هزار دانه بود و ۱۰/۸ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. مقدار اشتراک از ۰/۷۵ برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و ارتفاع بوته تا ۰/۹۶ برای صفت تعداد دانه در سنبله متغیر بود (جدول ۴).

در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط بدون تنش (محیط E3) مانند محیط E1، تجزیه به عامل‌ها سه عامل پنهانی را شناسایی کرد که ۷۴/۸ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه نمودند. صفات دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله به‌طور منفی عامل اول را تحت تأثیر قرار دادند و ۳۷ درصد از تنوع فنوتیپی صفات را تبیین نمود. عامل دوم بیشتر تحت تأثیر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه بود و ۲۱/۴ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود.

ارتفاع بوته به‌طور مثبت و تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله به‌طور مثبت عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۶/۵ درصد را توجیه کردند. دامنه تغییرات مقدار اشتراک بین ۰/۳۶ (وزن هزار دانه) تا ۰/۹۴ (وزن سنبله) بود (جدول ۴).

در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط تنش خشکی (محیط E4)، چهار عامل شناسایی شد که ۸۶ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه کردند. عامل اول تحت تأثیر منفی صفات سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله بود و ۴۰/۸ درصد از تنوع فنوتیپی صفات را تبیین کرد. عامل دوم ۱۹/۷ درصد از تغییرات کل را تبیین نمود و تحت تأثیر منفی صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله بود. صفات دورهٔ پر شدن دانه و وزن هزار دانه عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۵/۲ درصد تغییرات کل را تبیین کردند. عامل چهارم بیشتر تحت تأثیر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی بود و ۱۰/۲ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. دامنه تغییر مقدار اشتراک بین ۰/۷۰ (شاخص برداشت سنبله) تا ۰/۹۹ (تعداد روز تا ظهور سنبله) متغیر بود (جدول ۴).

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای ۱۱ صفت مورد بررسی در شرایط بدون تنش، سه عامل پنهانی را شناسایی کرد که ۸۲/۷درصد از تنوع کل داده‌ها را تبیین کرد. کمترین و بیشترین مقدار اشتراک به‌ترتیب مربوط به صفات وزن هزار دانه (۰/۵۰) و وزن سنبله (۰/۹۵) بود. عامل اول تحت تأثیر مثبت صفات تعداد روز تا رسیدگی، دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله بود و ۴۷/۱ درصد از تنوع فنوتیپی صفات را تبیین کرد. عامل دوم تحت تأثیر صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله بود و ۲۲/۹ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. تعداد روز تا ظهور سنبله و وزن هزار دانه عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۲/۸ درصد را توجیه کردند (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی چهار عامل که ۸۹/۰ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه کردند، شناسایی شد. عامل اول تحت تأثیر صفات دورهٔ پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله بود و ۴۰/۹ درصد از تنوع فنوتیپی صفات را توجیه کرد. عامل دوم که ۲۲/۰ درصد از تغییرات کل را تبیین کرد و تحت تأثیر منفی صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی بود. صفات سرعت پر شدن دانه و وزن هزار دانه عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۴/۱ درصد تغییرات کل را تبیین کردند. عامل چهارم بیشتر تحت تأثیر صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله بود و ۱۱/۹ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. دامنه تغییر مقدار اشتراک بین ۰/۸۴ (دورهٔ پر شدن دانه) تا ۰/۹۷ (تعداد دانه در سنبله) متغیر بود (جدول ۵).

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای ۱۱ صفت مورد بررسی در مجموع چهار محیط، چهار عامل پنهانی با تبیین ۸۲/۸ درصد از تنوع کل داده‌ها شناسایی شد. صفات ارتفاع بوته، دورهٔ پر شدن دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله عامل اول را تحت تأثیر قرار دادند و ۳۰/۹ درصد تنوع فنوتیپی صفات را توجیه کردند. عامل دوم که ۲۳/۹ درصد تغییرات کل را تبیین نمود، تحت تأثیر صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله بود. صفات سرعت پر شدن دانه و عملکرد دانه عامل سوم را تحت تأثیر قرار دادند و ۱۷/۶ درصد تغییرات کل را تبیین کردند. عامل چهارم بیشتر تحت تأثیر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و وزن هزار دانه بود و ۱۰/۴ درصد از تغییرات کل مربوط به این عامل بود. دامنه تغییر مقدار اشتراک بین ۰/۴۵ (تعداد روز تا رسیدگی) تا ۰/۹۸ (سرعت پر شدن دانه) بود (جدول ۵).

در مجموع نتایج تجزیه به عامل‌ها در هر محیط و همهٔ محیط‌ها نشان داد که ارتباط نزدیکی بین عملکرد دانه و صفات طول دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله وجود دارد و انتخاب غیرمستقیم از طریق این صفات در شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو شود (جدول ۵). نتایج پژوهشی نشان داد که انتخاب براساس طول دورهٔ پر شدن دانه و رسیدگی بوته می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو شود (Shirzad *et al.*, 2022). در تحقیقی دیگر با استفاده از نتایج تجزیه به عامل‌ها در محیط‌های بدون‌تنش و تنش خشکی و هم‌چنین در مجموع همه محیط‌ها مشخص شد که انتخاب غیرمستقیم برای صفات فنولوژیک و وزن هزار دانه در شرایط دیم باعث افزایش عملکرد دانه گندم دوروم می‌شود (Mohammadi and Geravandi, 2024). هم‌چنین، نتایج مشابهی نیز در گندم دوروم گزارش شده است (Mohammadi and Amri, 2013).

جدول ٤- تجزیه به عامل‌ها برای ۲۱ ژنوتیپ جو در محیط‌های بدون تنس و تنش خشکی در سال‌های زراعی ۱٤۰۲-۱٤۰۱ و ۱٤۰۳-۱٤۰۲.

Table 4. Factor analysis for 21 barley genotypes in each non-stress and drought stress environments during cropping years 2022-2023 and 2023-2024.

Cropping year	Env.	Factor	Morpho-phenological											Eigenvalues	Explained variance	Cumulative variance (%)
			DHE	DMA	PLH	GFP	GFR	TGW	YLD	NGS	SHI	SFIm	SPW			
1401-1402	E1	FA1	-0.13	0.63	-0.08	-0.78	-0.88	0.09	-0.96	0.18	-0.64	-0.74	0.23	5.14	46.8	46.8
2022-2023		FA2	-0.88	-0.62	0.48	0.02	0.27	0.01	0.2	-0.93	-0.17	-0.1	-0.82	2.5	22.7	69.5
		FA3	0.27	-0.18	0.75	0.4	-0.10	-0.72	0.01	-0.12	0.48	0.61	-0.47	1.38	12.6	82
		Communality	0.86	0.81	0.8	0.77	0.86	0.52	0.95	0.91	0.66	0.93	0.95	-	-	-
1401-1402	E2	FA1	-0.48	-0.15	0.12	-0.13	-0.81	-0.04	-0.72	-0.03	-0.91	-0.88	0.01	3.36	30.5	30.5
2022-2023		FA2	-0.25	-0.90	0.49	0.90	0.38	-0.22	0.64	0.03	-0.2	-0.10	-0.15	3.24	29.4	60
		FA3	0.44	0.28	-0.61	-0.05	0.13	0	0.09	0.92	-0.01	-0.04	0.95	1.8	16.4	76.3
		FA4	-0.51	-0.05	-0.34	-0.27	0.11	0.90	-0.01	-0.32	0.13	-0.29	0.11	1.19	10.8	87.1
		Communality	0.75	0.92	0.75	0.9	0.83	0.87	0.93	0.96	0.88	0.86	0.94	-	-	-
1402-1403	E3	FA1	-0.15	0.38	-0.23	-0.77	-0.64	0.17	-0.76	-0.14	-0.80	-0.81	0.17	4.07	37	37
2023-2024		FA2	-0.84	-0.79	-0.04	-0.09	0.59	0.57	0.52	-0.32	-0.03	-0.22	-0.17	2.35	21.4	58.4
		FA3	-0.21	-0.09	0.82	-0.17	0.11	0.05	0.04	-0.88	0.32	0.26	-0.94	1.81	16.5	74.8
		Communality	0.76	0.78	0.72	0.63	0.77	0.36	0.86	0.9	0.75	0.77	0.94	-	-	-
1402-1403	E4	FA1	0.06	0.34	0	-0.46	-0.90	-0.06	-0.93	0.07	-0.72	-0.73	0.17	4.49	40.8	40.8
2023-2024		FA2	0.01	-0.24	0.68	0.41	-0.08	0.14	0	-0.96	0.35	0.32	-0.95	2.17	19.7	60.5
		FA3	0.23	-0.16	0.58	0.54	-0.19	-0.86	-0.08	0.17	0.22	0.43	-0.06	1.68	15.2	75.8
		FA4	0.94	0.89	-0.06	-0.28	-0.12	-0.17	-0.16	0.14	-0.16	-0.03	0.04	1.13	10.2	86
		Communality	0.93	0.99	0.8	0.75	0.86	0.8	0.89	0.98	0.7	0.82	0.93	-	-	-

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

E1: شرایط بدون تنش (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E2: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E3: شرایط بدون تنش (۱۴۰۳-۱۴۰۲)، E4: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۳-۱۴۰۲)

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

The bold values represent the traits with high contribution to each factor.

E1: Non-stress conditions (2022-2023), E2: Drought stress conditions (2022-2023), E3: Non-stress conditions (2023-2024), E4: Drought stress conditions (2023-2024)

جدول ۵- تجزیه به عامل‌ها برای ۲۱ ژنوتیپ جو در محیط‌های بدون تنس و تنش خشکی در سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱

Table 5. Factor analysis for 21 barley genotypes in each non-stress and drought stress environments during 2022-2024 cropping years

Cropping year	Env.	Factor	Morpho-phenological											Eigenvalues	Explained variance	Cumulative variance (%)
			DHE	DMA	PLH	GFP	GFR	TGW	YLD	NGS	SHI	SFIm	SPW			
1401-1403	No-Stress	FA1	0.12	0.72	-0.22	-0.86	-0.84	0.14	-0.92	0.05	-0.80	-0.78	0.24	5.18	47.1	47.1
2022-2024		FA2	-0.52	-0.47	0.81	0.03	0.28	-0.14	0.23	-0.90	0.02	0.13	-0.95	2.52	22.9	70
		FA3	0.72	0.36	0.38	0.35	-0.26	-0.68	-0.11	0.26	0.32	0.52	-0.06	1.4	12.8	82.7
		Communality	0.8	0.87	0.84	0.86	0.84	0.5	0.91	0.89	0.74	0.89	0.95	-	-	-
1401-1403	Stress	FA1	-0.15	0.21	-0.12	-0.90	-0.44	0.04	-0.88	0.04	-0.87	-0.83	0.17	4.5	40.9	40.9
2022-2024		FA2	-0.83	-0.91	0.18	0.16	0.53	0.13	0.31	-0.19	-0.1	-0.2	-0.18	2.43	22	63
		FA3	0.36	-0.16	0.48	0.06	0.56	-0.91	0.23	0.29	-0.21	0.26	-0.12	1.55	14.1	77.1
		FA4	0.16	0.29	-0.78	0.06	-0.27	0	-0.03	0.92	-0.22	-0.25	0.92	1.31	11.9	89
		Communality	0.85	0.97	0.88	0.84	0.86	0.85	0.91	0.97	0.85	0.86	0.93	-	-	-
1401-1403	All Env.	FA1	0.22	-0.11	0.77	0.81	0.07	0.04	0.19	-0.04	0.91	0.93	-0.11	3.39	30.9	30.9
2022-2024		FA2	-0.18	-0.64	0.37	0.06	-0.14	0.08	-0.05	-0.93	0.04	0.05	-0.92	2.63	23.9	54.8
		FA3	-0.22	0.03	-0.02	0.15	0.98	-0.12	0.96	0.01	0.19	0.00	0.16	1.93	17.6	72.3
		FA4	-0.80	-0.17	0.31	-0.27	0.01	0.91	0.04	-0.09	0.05	-0.18	0.01	1.15	10.4	82.8
		Communality	0.77	0.45	0.83	0.75	0.98	0.85	0.96	0.88	0.86	0.89	0.88	-	-	-

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ FR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

مقادیر برجسته نشان‌دهنده صفات با سهم بالا در هر فاکتور می‌باشد.

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

The bold values represent the traits with high contribution to each factor.

شاخص‌های انتخاب چند صفتی و انتخاب ژنوتیپ-های برتر

شاخص MGIDI برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از ۱۱ صفت مورفوفنولوژیک مورد بررسی محاسبه شد (شکل ۲). در این شکل دایره قرمز مرکزی نقطه برش را با توجه به‌شدت انتخاب ۲۰ درصد نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر اساس این شاخص در خارج از دایره قرمز مرکزی قرار دارند (Olivoto and Nardino, 2020).

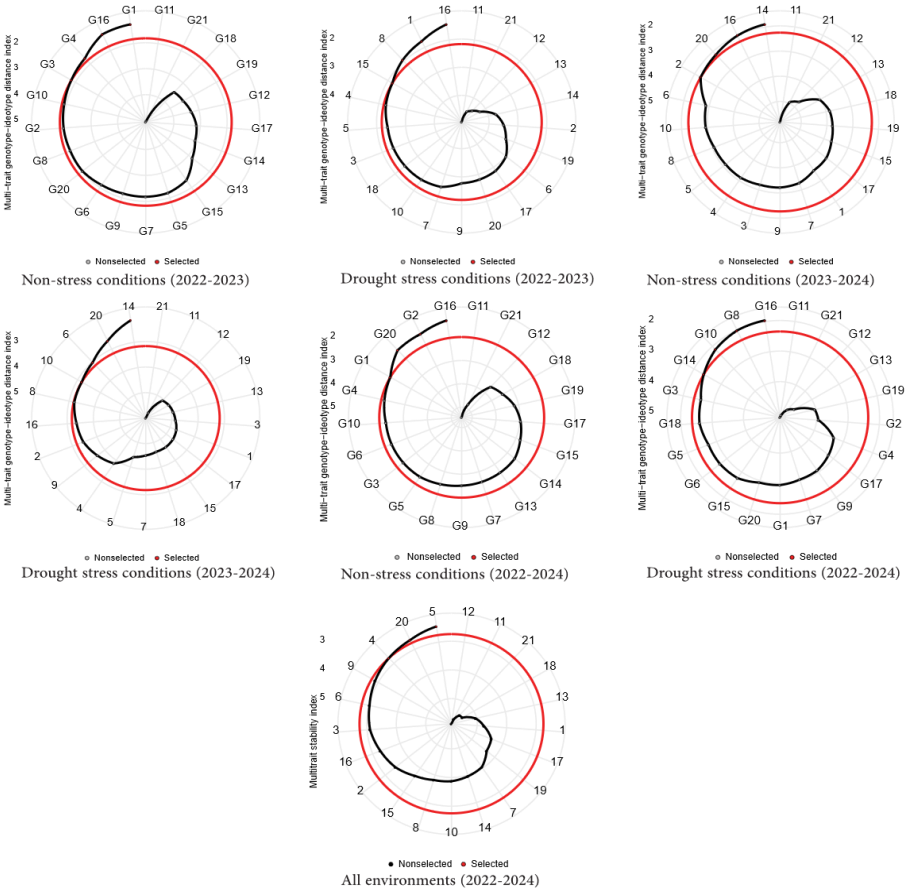
در واقع در این تحقیق، ارزش ژنوتیپ‌ها بر اساس بالا بودن مقدار صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن هزار دانه، طول دورهٔ پر شدن، طول پدانکل، سرعت پر شدن دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله و از طرفی پایین بودن ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی تعیین شد. در این شاخص ژنوتیپ‌هایی با کمترین مقدار، ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند.

بنابراین، بر مبنای شاخص MGIDI در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط بدون تنش (محیط E1)، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G1، G16، G4 و G3 کمترین مقدار MGIDI جزو ژنوتیپ-های برتر بودند. در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط تنش خشکی (محیط E2)، ژنوتیپ‌های G16، G1، G5 و G15 جزو ژنوتیپ‌های ایده‌آل بودند. ژنوتیپ‌های G14، G16، G20 و G2 در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط بدون تنش (محیط E3) جزو برترین ژنوتیپ‌ها دسته‌بندی شدند. در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط تنش خشکی (محیط E4)، ژنوتیپ‌های G14، G20، G6 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر بودند. در مجموع در شرایط بدون تنش (۱۴۰۳-۱۴۰۱)، ژنوتیپ‌های G16، G2، G20 و G1 از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند و ژنوتیپ‌های G16، G18، G10 و G14 در شرایط تنش خشکی (۱۴۰۳-۱۴۰۱) جزو ژنوتیپ‌های ایده‌آل بودند (شکل ۲).

در کل و برمبنای شاخص MSTI در همه محیط‌ها (۱۴۰۱-۱۴۰۳)، ژنوتیپ‌های G5، G8 و G3 جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر تعدادی از صفات مورد بررسی بودند (شکل ۲).

در تحقیقی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر جو، ۱۰۸ لاین خالص همراه با چهار ژنوتیپ شاهد با استفاده از شاخص MGIDI ارزیابی و کاربرد این شاخص بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین لاین‌ها و شاهدهای آزمایش در همه صفات (به‌جزء طول پدانکل) وجود داشت. بر مبنای شاخص MGIDI، نه لاین با کمترین مقدار این شاخص جزو برترین ژنوتیپ‌ها بودند. این نتایج نشان‌دهنده توانایی روش ارائه شده در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است که می‌تواند به‌عنوان یک روش انتخاب مبتنی بر چند صفت استفاده شود (Shirzad *et al.*, 2022). نتایج مشابهی از کارایی شاخص MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در جو (Zali and Pour-Aboughadareh, 2023) و گندم (Askari Kalestani *et al.*, 2024) گزارش شده است.

شکل ۳ نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های انتخابی را نشان می‌دهد. سهم عامل‌ها در شاخص MGIDI به دو دسته عامل-هایی با سهم کمتر و سهم بیشتر طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس این نمودار کمترین سهم توجیه شده توسط یک عامل (نزدیک به لبه خارجی) نشان‌دهندهٔ نزدیک بودن صفات درون آن عامل به حالت ایده‌آل است. نقطه‌چین نشان‌دهنده ارزش نظری است. با این شرط که، همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند. با توجه به این‌که هر تیمار برای عامل‌هایی که سهم کمتری در آن‌ها دارد، از لحاظ صفات درون آن عامل به تیمار ایده‌آل نزدیک‌تر است (Olivoto and Nardino, 2020). در شرایط بدون تنش سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ (محیط E1)، اولین عامل بیشترین سهم را برای ژنوتیپ G4 داشت و بنابراین برای مقادیر بالای صفات تعداد روز تا رسیدگی، دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله مشخص شد که G4 بهترین عملکرد را بر اساس این صفات نشان می‌دهد. در حالی‌که، FA2 بیشترین سهم را برای ژنوتیپ G16 داشت و بنابراین بهترین عملکرد را برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله نشان داد. بیشترین سهم برای ژنوتیپ G1 مربوط به سومین عامل بود که بیانگر برتری صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه برای این ژنوتیپ می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۲- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های انتخاب چند صفتی MTSI و MGIDI بر مبنای یازده صفت در هر محیط به‌طور جداگانه و همه محیط‌ها (۱۴۰۳-۱۴۰۱). دایره قرمز مرکزی نقطه برش برمبنای شدت انتخاب ۲۰ درصد می‌باشد.

Figure 2. Genotype ranking for the MSTI and MGIDI multi-trait selection indices based on eleven traits in each and across environments (2022–2024). The central red circle represents the cut point according to the selection pressure of 20%.

دیفرانسیل انتخاب (تفاوت بین میانگین جمعیت و میانگین ژنوتیپ‌های انتخابی) برای صفات زراعی (تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله) مثبت و برای صفات فنولوژیکی (تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله) منفی بود، که نشان می‌دهد این روش در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا، شاخص باروری سنبله و سرعت پر شدن دانه کارآمد بوده است. درصد دیفرانسیل انتخاب برای صفات عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله به‌ترتیب با مقادیر ۲۳/۳، ۱۹ و ۱۷/۳ درصد بیشترین و برای برای سایر صفات پایین بود (جدول ۶).

در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط تنش خشکی (محیط E2)، در بین چهار ژنوتیپ انتخابی، ژنوتیپ G15 با بیشترین سهم در MGIDI مربوط به عامل‌های اول، دوم و چهارم بود که نشان می‌دهد G15 ژنوتیپ انتخابی براساس بیشتر صفات مورد بررسی می‌باشد. ژنوتیپ G16 بیشترین سهم را در MGIDI از نظر عامل سوم داشت و صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله بیشترین سهم را در FA3 نشان دادند که نشان می‌دهد، لاین G16 بهترین عملکرد را از نظر این صفات دارد (شکل ۳). در شرایط تنش، دیفرانسیل انتخاب برای همه صفات به‌جزء تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله مثبت بود، دیفرانسیل انتخاب برای صفات عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله به‌ترتیب ۱۶/۹،

۱۵/۳ و ۸/۴۹ درصد بود (جدول ۶) که نشان می‌دهد این روش در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله کارآمد بوده است.

در شرایط بدون‌تنش سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ (محیط E3)، در بین چهار ژنوتیپ انتخابی، ژنوتیپ‌های G2، G16 و G20 بیشترین سهم را در FA3 نشان دادند که بیشترین همبستگی را با صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله داشتند. در حالی‌که، ژنوتیپ G14 بیشترین ارتباط را با FA1 داشت که بیشترین ارتباط با صفات دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله را داشت. ژنوتیپ G16 نیز سهم بالایی در FA2 نشان داد که بالاترین مقدار را برای صفات فنولوژیک (تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی) و وزن هزار دانه نشان داد (شکل ۳). دیفرانسیل انتخاب برای همه صفات مثبت بود به‌جزء صفات DHE، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه که منفی بودند. از طرفی بیشترین مقدار دیفرانسیل انتخاب به‌ترتیب مربوط صفات عملکرد دانه (۲۳/۳)، شاخص باروری سنبله (۲۰/۱)، تعداد دانه در سنبله (۱۶/۴)، سرعت پر شدن دانه (۱۵)، وزن سنبله (۸/۳۹) و دورهٔ پر شدن دانه (۷/۹۵) بود (جدول ۶) که نشان می‌دهد این روش MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و با صفات زراعی مطلوب کارآمد است.

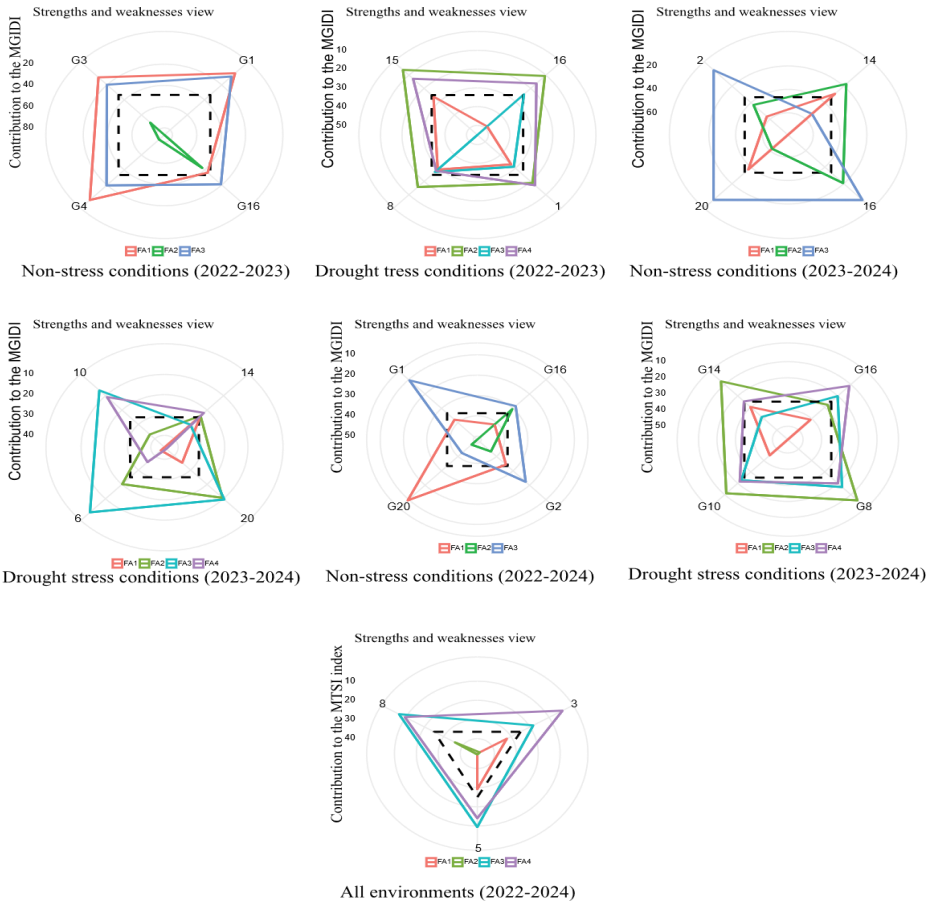
در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط تنش خشکی (محیط E4)، در بین چهار ژنوتیپ انتخابی، ژنوتیپ G14 با بیشترین سهم در MGIDI مربوط به عامل‌های اول بود که نشان می‌دهد این ژنوتیپ انتخابی براساس صفات سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله برتر می‌باشد. ژنوتیپ G20 بیشترین سهم را در MGIDI از نظر عامل دوم داشت و بنابراین صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بیشترین سهم را در FA2 نشان دادند که نشان می‌دهد، لاین اصلاحی G20 بهترین عملکرد را از نظر این صفات دارد. ژنوتیپ G10 بیشترین ارتباط را با FA3 نشان داد که بیشترین ارتباط با صفات دورهٔ پر شدن دانه و وزن هزار دانه را داشت. ژنوتیپ‌های G6، G10 و G20 بیشترین سهم را در FA4 دارا بودند (شکل ۳)، که بیشترین همبستگی را با صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا ظهور سنبله داشت. با توجه به دیفرانسیل منفی این صفات، در این محیط ژنوتیپ‌های زودرس انتخاب شده‌اند. در شرایط تنش، دیفرانسیل انتخاب برای صفات دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله مثبت و بالا بود (جدول ۶)، که نشان می‌دهد این روش در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله کارآمد بوده است.

در شرایط بدون تنش سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱، از بین چهار ژنوتیپ انتخابی، ژنوتیپ G20 بیشترین سهم را در FA1 نشان داد که بیشترین همبستگی را با صفات تعداد روز تا رسیدگی، دورهٔ پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله داشت. در حالی‌که، ژنوتیپ G16 بیشترین ارتباط را با FA2 داشت و بیشترین ارتباط با صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله را نشان داد. ژنوتیپ G1 نیز سهم بالایی در FA3 نشان داد (شکل ۳) که بالاترین مقدار را برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و وزن هزار دانه داشت (جدول ۵). دیفرانسیل انتخاب برای همه صفات به‌جزء تعداد روز تا ظهور سنبله مثبت بود. از طرفی بیشترین مقدار دیفرانسیل انتخاب به‌ترتیب مربوط صفات عملکرد دانه (۱۲/۶)، شاخص باروری سنبله (۸/۶۴) و دورهٔ پر شدن دانه (۸/۱۹) بود (جدول ۷) که نشان می‌دهد این روش MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و با صفات زراعی مطلوب کارآمد است.

در شرایط تنش خشکی سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱، ژنوتیپ G14 با بیشترین سهم در MGIDI مربوط به عامل‌های اول بود که نشان می‌دهد این ژنوتیپ انتخابی براساس صفات سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت سنبله و شاخص باروری سنبله برتر می‌باشد. ژنوتیپ‌های G8 و G14 بیشترین سهم را در MGIDI از نظر عامل دوم داشت و بنابراین صفات فنولوژیک تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی بیشترین سهم را در FA2 نشان دادند. ژنوتیپ‌های G8 و G10 بیشترین ارتباط را با FA3 داشتند که بیشترین ارتباط با صفات دورهٔ پر شدن دانه و وزن هزار دانه را داشت. ژنوتیپ G16 بیشترین سهم را در FA4 نشان داد (شکل ۳)، که بیشترین

همبستگی را با صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن سنبله داشتند. در شرایط تنش، دیفرانسیل انتخاب برای صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته منفی بود و از طرفی بیشترین مقدار دیفرانسیل انتخاب به‌ترتیب مربوط صفات شاخص باروری سنبله (۱۳/۹۰)، عملکرد دانه (۱۰/۷) و سرعت پر شدن دانه (۹/۳۵) بود (جدول ۷) که نشان می‌دهد این روش در انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد بالا، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله در شرایط تنش خشکی کارآمد بوده است.

دیدگاه الگوی نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها، نسبت شاخص پایداری چند صفتی را نشان می‌دهد که توسط هر عامل توضیح داده شده است و ابزار مهمی برای شناسایی نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است (Al- Norman *et al.*, 2022; Ashkar *et al.*, 2023). بر اساس یافته‌های ما در مورد شرایط تنش خشکی و بدون تنش، ژنوتیپ‌ها متفاوت بودند اما برخی از ژنوتیپ‌های مشترک در بین محیط‌ها شناسایی شدند. از طرفی آگاهی از سهم این ژنوتیپ‌ها به انتخاب والدین احتمالی برای تلاقی‌های آینده کمک می‌کند (Mohammadi and Geravandi, 2024).



شکل ۳- نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده، به‌عنوان نسبت هر عامل در شاخص‌های MGIDI و MTSI محاسبه‌شده نشان داده شده است. نسبت‌های کوچک‌تر که توسط یک عامل توضیح داده می‌شوند (نزدیک‌تر به لبه خارجی) نشان می‌دهند که صفت درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است. نقطه‌چین نشان‌دهنده مقادیر تئوری است در صورتی- که همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند.

Figure 3. The strengths and weakness view of the selected genotypes identified, shown as the proportion of each factor on the estimated MGIDI and MTSI. Smaller proportions explained by a factor (closer to the external edge) indicate that the trait within that factor is closer to the ideotype. The dashed line shows the theoretical value if all the factors contributed equally.

جدول ٦- برآورد میانگین اصلی (Xo)، میانگین ژنوتیپ‌های انتخاب شده (Xs)، دیفرانسیل انتخاب (SD)، درصد دیفرانسیل انتخاب (SD%) بر اساس شاخص MGIDI بر روی یازده صفت مورد بررسی برای ۲۱ ژنوتیپ جو تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲.

Table 6. Estimates of the original mean (Xo), mean of the selected genotypes (Xs), selection differential (SD) and percentage selection differential (SD%) based on MGIDI index applied on eleven investigated traits for 21 barley genotypes under non-stress and drought stress during cropping years 2022-2023 and 2023-2024.

Cropping year	Traits	Environment	Stress	Xo	Xs	SD	SD%	Sence	Goal
1401-1402	DHE	E1	Non-stress	101	101	-0.631	-0.622	decrease	100
2022-2023		E2	Drought stress	102	101	-1.17	-1.14	decrease	100
	DMA	E1	Non-stress	142	143	1.14	0.806	decrease	0
		E2	Drought stress	140	139	-0.536	-0.383	decrease	100
	PLH	E1	Non-stress	105	106	1.01	0.955	decrease	0
		E2	Drought stress	110	109	-0.825	-0.749	decrease	100
	GFP	E1	Non-stress	40.5	42.2	1.77	4.38	increase	100
		E2	Drought stress	38	38.6	0.631	1.66	increase	100
	GFR	E1	Non-stress	156	185	29.5	19	increase	100
		E2	Drought stress	133	154	20.4	15.3	increase	100
	TKW	E1	Non-stress	49.7	50.2	0.429	0.864	increase	100
		E2	Drought stress	42.4	43.3	0.863	2.04	increase	100
	YLD	E1	Non-stress	6352	7831	1479	23.3	increase	100
		E2	Drought stress	5086	5946	860	16.9	increase	100
	NGS	E1	Non-stress	47.9	46.9	-1.05	-2.18	increase	0
		E2	Drought stress	52.1	50.2	-1.91	-3.66	increase	0
	SHI	E1	Non-stress	0.927	0.94	0.0127	1.37	increase	100
		E2	Drought stress	0.911	0.922	0.011	1.21	increase	100
	SFIm	E1	Non-stress	270	317	46.7	17.3	increase	100
		E2	Drought stress	260	283	22.1	8.49	increase	100
	SDWm	E1	Non-stress	2.62	2.6	-0.0181	-0.689	increase	0
		E2	Drought stress	2.38	2.34	-0.0454	-1.9	increase	0
1402-1403	DHE	E3	Non-stress	90.2	88.3	-1.86	-2.06	decrease	100
2023-2024		E4	Drought stress	-0.972	-1.1	0.887	-0.862	decrease	100
	DMA	E3	Non-stress	127	129	1.11	0.869	decrease	0
		E4	Drought stress	-0.044	-0.0342	0.913	-0.0399	decrease	100
	PLH	E3	Non-stress	94.4	93.8	-0.579	-0.614	decrease	100
		E4	Drought stress	-0.353	-0.355	0.665	-0.235	decrease	100
	GFP	E3	Non-stress	37.3	40.2	2.96	7.95	increase	100
		E4	Drought stress	0.929	2.39	0.711	0.661	increase	100
	GFR	E3	Non-stress	108	124	16.2	15	increase	100
		E4	Drought stress	18	25.5	0.796	14.3	increase	100
	TKW	E3	Non-stress	42.6	41.2	-1.36	-3.18	increase	0
		E4	Drought stress	-1.68	-4.51	0.91	-1.53	increase	0
	YLD	E3	Non-stress	4039	4981	942	23.3	increase	100
		E4	Drought stress	2743	3508	766	27.9	increase	100
	NGS	E3	Non-stress	45	52.4	7.38	16.4	increase	100
		E4	Drought stress	3.04	8.14	0.907	2.76	increase	100
	SHI	E3	Non-stress	0.906	0.917	0.011	1.21	increase	100
		E4	Drought stress	0.019	2.11	0.764	0.0145	increase	100
	SFIm	E3	Non-stress	222	266	44.6	20.1	increase	100
		E4	Drought stress	57.7	27.9	0.725	41.8	increase	100
	SPW	E3	Non-stress	2.37	2.57	0.199	8.39	increase	100
		E4	Drought stress	-0.013	-0.646	0.855	-0.011	increase	0

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

E1: شرایط بدون تنش (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E2: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۲-۱۴۰۱)، E3: شرایط بدون تنش (۱۴۰۳-۱۴۰۲)، E4: شرایط تنش خشکی (۱۴۰۳-۱۴۰۲)

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight. The bold values represent the traits with high contribution to each factor.

E1: Non-stress conditions (2022-2023), E2: Drought stress conditions (2022-2023), E3: Non-stress conditions (2023-2024), E4: Drought stress conditions (2023-2024)

جدول ۷- برآورد میانگین اصلی (Xo)، میانگین ژنوتیپ‌های انتخاب شده (Xs)، دیفرانسیل انتخاب (SD)، درصد دیفرانسیل انتخاب (SD%) بر اساس شاخص MTSI در یازده صفت مورد بررسی برای ۲۱ ژنوتیپ جو تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی در سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱.

Table 7. Estimates of the original mean (Xo), mean of the selected genotypes (Xs), selection differential (SD) and percentage selection differential (SD%) based on MTSI index applied on eleven investigated traits for 21 barley genotypes under non-stress and drought stress during cropping years 2022-2024.

Traits	Environment	Xo	Xs	SD	SD%	Sence	Goal
DHE	Non-stress	95.8	95.2	-0.65	-0.67	decrease	100
	Drought stress	95.3	93	-2.28	-2.39	decrease	100
DMA	Non-stress	135	136	1.16	0.86	decrease	0
	Drought stress	134	132	-1.45	-1.08	decrease	100
PLH	Non-stress	100	104	3.62	3.62	decrease	0
	Drought stress	105	99.6	-5.33	-5.08	decrease	100
GFP	Non-stress	38.9	40.7	1.84	4.74	increase	100
	Drought stress	102	112	9.54	9.35	increase	100
GFR	Non-stress	132	143	10.80	8.19	increase	100
	Drought stress	38.4	39.3	0.84	2.19	increase	100
TKW	Non-stress	46.1	44.4	-1.77	-3.84	increase	0
	Drought stress	39.8	38.8	-1.00	-2.51	increase	0
YLD	Non-stress	5195	5849	654	12.60	increase	100
	Drought stress	3914	4332	418	10.70	increase	100
NGS	Non-stress	46.5	50.3	3.85	8.28	increase	100
	Drought stress	44.7	45.9	1.14	2.55	increase	100
SHI	Non-stress	0.917	0.923	0.01	0.64	increase	100
	Drought stress	0.906	0.915	0.01	0.97	increase	100
SFIm	Non-stress	246	267	21.30	8.64	increase	100
	Drought stress	233	266	32.50	13.90	increase	100
SPW	Non-stress	2.5	2.58	0.08	3.00	increase	100
	Drought stress	2.17	2.12	-0.0464	-2.14	increase	0

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

پیشرفت حاصل از انتخاب برای عملکرد زراعی

نتایج نشان داد که انتخاب چند صفتی منجر به افزایش نرخ موفقیت در انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تعدادی صفات مطلوب شده که دیفرانسیل انتخابی آن‌ها بالا و مثبت بود. مقدار دیفرانسیل انتخاب برای صفت تعداد روز تا ظهور سنبله در همه محیط‌ها منفی و مقدار پایینی بود. بنابراین، هرچند شاخص انتخاب MGIDI به سمت انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس رفته است اما مقدار زودرسی ژنوتیپ‌های انتخابی در حد یک یا دو روز می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که دیفرانسیل انتخاب برای تعداد روز تا رسیدگی در بعضی از محیط‌ها مثبت و در بعضی دیگر منفی بود ولی در همه آن‌ها مقدار پایین را نشان داد که در مجموع نشان می‌دهد در شرایط این آزمایش ژنوتیپ‌های زودرس با استفاده از شاخص MGIDI شناسایی نشدند (شکل ۴).

برای صفت ارتفاع بوته، مقدار دیفرانسیل گزینش (چه منفی و چه مثبت) مقدار پایینی بود که نشان داد میانگین ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های انتخابی تفاوت چندانی با میانگین ژنوتیپ-های انتخاب نشده ندارد. در بیشتر محیط‌ها وزن هزار دانه مقدار دیفرانسیل انتخاب منفی یا مقدار پایین دیفرانسیل انتخاب را نشان داد که نشان‌دهنده عدم موفقت شاخص MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌هایی با وزن هزار دانه بالا بود. در همه محیط‌های مورد بررسی دیفرانسیل انتخاب برای طول دورهٔ پر شدن دانه مثبت برآورد شد که نشان از موثر بودن شاخص MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر این صفت بود (شکل ۴).

دیفرانسیل گزینش برای وزن هزار دانه در سال اول مثبت و در سال دوم منفی بود و در مجموع دو سال و در هر دو شرایط تنش و بدون تنش منفی بود که نشان داد در نهایت

ژنوتیپ‌هایی که وزن هزار دانه آن‌ها بالا باشد، شناسایی نشدند. دیفرانسیل گزینش برای تعداد دانه در بوته بر خلاف وزن هزار دانه در سال اول منفی و در سال دوم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مثبت ارزیابی شد و در مجموع هر دو سال هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش مقدار دیفرانسیل گزینش برای صفت تعداد دانه در خوشه مثبت ارزیابی شد که نشان‌دهنده انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تعداد دانه بالا در خوشه می‌باشد (شکل ۴).

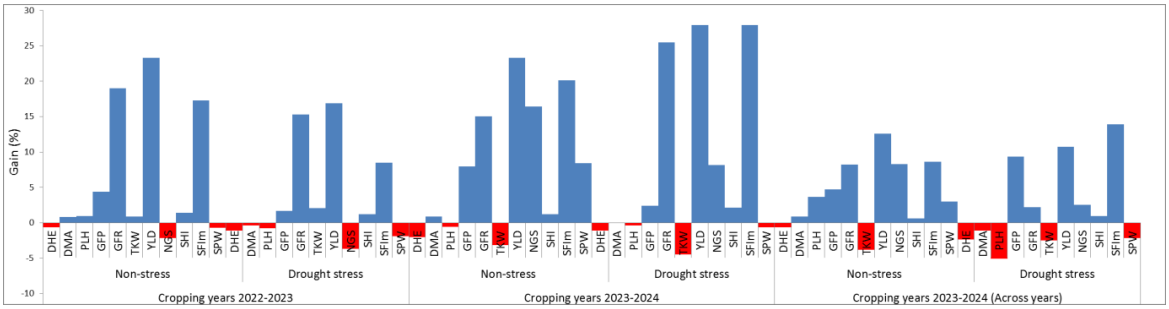
درصد دیفرانسیل انتخاب برای شاخص برداشت سنبله در همه محیط‌ها و در مجموع دو سال تنش و بدون تنش مثبت ولی ناچیز ارزیابی شد که نشان از عدم شناسایی ژنوتیپ‌هایی با شاخص برداشت سنبله در هر کدام از محیط‌ها بود. دیفرانسیل انتخاب برای وزن خوشه همه محیط‌ها (به‌جزء شرایط بدون تنش ۱۴۰۳-۱۴۰۲) منفی ارزیابی شد و هم‌چنین دیفرانسیل انتخاب آن در مجموع دو سال و در شرایط بدون تنش مثبت بود (شکل ۴).

در همهٔ محیط‌های مورد بررسی و هم‌چنین در شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مجموع دو سال، بیشترین مقدار درصد پیشرفت حاصل از انتخاب مربوط به صفات عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله بود که نشان از شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد دانه بالا، سرعت بالای پر شدن دانه و هم‌چنین افزایش درصد شاخص باروری سنبله می‌باشد (شکل ۴).

در تحقیقی در گندم دوروم و در شرایط دیم با استفاده از شاخص‌های انتخاب مشخص شد ژنوتیپ‌های منتخب ترکیبی از ارتفاع بوته بالا، عملکرد دانه بالا، وزن هزار دانه بالا و زودرس و ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط آبیاری ترکیبی از تعداد روز کمتر تا ظهور سنبله، و دیررس‌تر، عملکرد دانه بالا، وزن هزار دانه بالا و ارتفاع بوته بالا بودند (Mohammadi and Geravandi, 2024).

ویژگی های زراعی ژنوتیپ‌های منتخب براساس شاخص MGIDI و MSTI

ویژگی‌های زراعی ژنوتیپ‌های برتر براساس شاخص MGIDI و MSTI برای هر محیط و همه محیط‌ها در جدول ۸ نشان داده شده است. در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و در شرایط بدون تنش هر چهار ژنوتیپ انتخابی براساس شاخص MGIDI (G1، G3، G4 و G16) از نظر صفات عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله از میانگین عملکرد کل بالاتر بودند. همه ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط تنش خشکی (G1، G8، G15 و G16) در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ از نظر عملکرد دانه و سرعت پر شدن دانه از میانگین کل برتر بودند.



شکل ٤- درصد پیشرفت ژنتیکی برای صفات مورد مطالعه در ۲۱ ژنوتیپ جو تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی برای هر سال و همه سال‌ها

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

Figure 4. Gain (%) for each studied traits in 21 barley genotypes under non-stress and drought conditions for each and across years.

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

همهٔ ژنوتیپ‌های انتخابی در شرایط بدون تنش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ (G2، G14، G16 و G20) تنها از نظر عملکرد دانه از میانگین کل برتر بودند. ژنوتیپ G14 یکی از زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها بود که سرعت پر شدن دانه و شاخص باروری سنبله آن از میانگین کل برتر بود. ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی (G6، G10، G14 و G20) نیز از نظر عملکرد دانه و شاخص باروری سنبله از میانگین کل برتر بودند (جدول ۸).

براساس شاخص MSTI، ژنوتیپ منتخب (G8، G5 و G3) از نظر عملکرد دانه و شاخص باروری سنبله از میانگین کل برتر بودند. ژنوتیپ G8 نیز جزو زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۸). در واقع نتایج نشان می‌دهد شاخص MSTI یک شاخص توسعه‌یافته برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار می‌باشد که ممکن است از نظر سایر صفات مورد بررسی نیز برتر باشند. با این‌حال، پتانسیل این شاخص برای بهبود همزمان صفات چندگانه با استفاده از اثرات ژنتیکی پیش‌بینی‌شده در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Zuffo *et al.*, 2020; Olivoto and Nardino, 2021; Sellami *et al.*, 2021; Yue *et al.*, 2022; Norman *et al.*, 2022).

جدول ۸- ویژگی‌های زراعی ژنوتیپ‌های برتر انتخاب‌شده با استفاده از شاخص‌های چند صفتی MSTI و MGIDI اعمال‌شده بر صفات مورد بررسی در دو سال زراعی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و همه محیط‌ها (سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱).

Table 8. Agronomic characteristic of top genotypes selected by multi-trait indices MSTI and MGIDI applied on investigated traits across two cropping years in non-stress and drought stress conditions and all environments (Cropping years 2022-2024).

Cropping year	Env.	Selected Genotypes	Morpho-phenological traits										
			DHE	DMA	PLH	GFP	GFR	TGW	YLD	NGS	SHI	SFIm	SPW
2022-2023	E1	1	99.7	142.7	112.0	43.0	186	50.1	8017	42.9	0.94	320	2.52
		3	101.0	143.3	97.3	42.3	187	49.3	7922	42.0	0.94	370	2.19
		4	102.0	145.7	106.3	43.7	185	50.3	8075	48.7	0.94	302	2.75
		16	100.3	140.3	110.3	40.0	182	50.9	7311	54.0	0.93	275	2.95
		Mean	101.4	141.9	105.5	40.5	155	49.7	6352	47.9	0.93	270	2.62
	E2	1	100.3	141.0	108.0	40.7	154	43.8	6306	49.6	0.92	268	2.29
		8	100.0	138.3	110.3	38.3	137	43.3	5261	53.4	0.93	303	2.49
		15	102.7	140.3	110.3	37.7	150	42.3	5667	45.1	0.93	319	2.05
		16	100.3	138.0	108.7	37.7	173	43.6	6549	52.7	0.91	240	2.52
		Mean	102.0	140.0	110.2	38.0	133	42.4	5086	52.1	0.91	260	2.38
2023-2024	E3	2	90.0	130.0	93.3	40.0	129	40.0	5158	55.9	0.90	207	2.68
		14	86.0	125.3	78.7	39.3	121	40.1	4761	49.9	0.94	371	2.23
		16	86.0	128.3	101.7	42.3	103	41.6	4378	50.2	0.90	194	2.70
		20	91.3	130.7	101.7	39.3	142	43.2	5628	53.6	0.93	293	2.67
		Mean	90.2	127.5	94.4	37.3	108	42.6	4039	45.0	0.91	222	2.37
	E4	6	89.0	128.0	99.0	39.0	94	33.5	3667	38.6	0.90	215	1.84
		10	85.3	125.7	102.3	40.3	69	37.6	2802	33.3	0.91	245	1.62
		14	86.3	127.3	89.0	41.0	97	33.8	3985	44.9	0.93	328	2.17
		20	89.7	128.7	106.7	39.0	92	37.4	3579	44.8	0.92	269	2.25
		Mean	88.6	127.5	99.6	38.9	70	37.3	2743	37.4	0.90	206	1.98
2022-2024	All env.	3	96.3	136.1	95.8	70.3	95	41.8	5068	39.1	0.93	302.6	1.96
		5	96.6	136.3	99.3	69.1	90	42.8	4737	41.7	0.92	272.0	2.08
		8	91.8	130.7	98.9	74.2	82	43.6	4552	46.7	0.91	245.0	2.39
		Mean	95.5	134.2	102.4	70.5	85	43.0	4555	45.6	0.91	239.7	2.34

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدن؛ PLH: ارتفاع بوته؛ GFP: دوره پر شدن دانه؛ FR: سرعت پر شدن دانه؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه؛ NGS: تعداد دانه در هر سنبله؛ SHI: شاخص برداشت سنبله؛ SFIm: شاخص باروری سنبله؛ SPW: وزن سنبله.

DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; GFP: Grain filling period; GFR: Grain filling rate; TGW: Thousand grain weight; YLD: Grain yield; NGS: Number of grains per spike; SHI: Spike harvest index; SFIm: Spike fertility index; SPW: Spike weight.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط بدون‌تنش (G16، G2، G20 و G1) دارای ترکیبی از صفات طول دورهٔ پر شدن و سرعت پر شدن دانه بالا، عملکرد دانه بالا، تعداد دانه در سنبله بالا، شاخص باروری سنبله بالا و نهایتاً وزن خوشه بالا هستند و ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط تنش خشکی (G16، G8، G10 و G14) دارای ترکیبی از صفات طول دورهٔ پر شدن بالا، عملکرد دانه بالا و شاخص باروری سنبله بالا بودند. بنابراین، هر کدام از این ژنوتیپ‌ها می‌تواند کاندید معرفی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل باشند و از آنجایی که ژنوتیپ G16 در هر دو شرایط جزو ژنوتیپ‌های منتخب می‌باشد، می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شود.

سپاس‌گزاری

پژوهش حاضر برگرفته از رسالهٔ دکتری و حاصل قسمتی از نتایج پروژهٔ مصوب موسسهٔ اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر به شمارهٔ ۰۱۱۰۵۸-۱۴۷-۰۳۱۳-۰۳-۰۱۳ می‌باشد. نویسندگان مقاله از موسسهٔ مزبور به‌دلیل حمایت‌های مالی و معنوی در اجرای پروژهٔ فوق و هم‌چنین همکاران ایستگاه داراب که در اجرای این پروژه همکاری کرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

Al-Ashkar, I., Sallam, M., Almutairi, K.F., Shady, M., Ibrahim, A., & Alghamdi, S.S. (2023). Detection of high-performance wheat genotypes and genetic stability to determine complex interplay between genotypes and environments. *Agronomy*, 13, 585. https://doi.org/10.3390/agronomy13020585

Askari kalestani, A.R., Tabib Ghaffary, S. M., Zali, H., & Esmaeilzadeh Moghadam, M. (2024). Identification of superior bread wheat genotypes using composite indices for cultivation in warm regions. *Plant Productions*, 47(4), 491-510. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46831.2163 [In Persian].

Chowdhury, M.K., Hasan, M.A., Bahadur, M.M., Islam, M.R., Hakim, M.A., Iqbal, M.A., Javed, T., Raza A., Shabbir, R., Sorour, S., El Sanafawy, N.E.M., Anwar, S., Almari, S., EL, Sabagh A., & Isalm, M.S. (2021). Evaluation of drought tolerance of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes through phenology, growth, and physiological indices. *Agronomy*, 11, 1792. https://doi.org/10.3390/agronomy11091792

Elakhdar, A., Solanki, S., Kubo, T., Abed, A., Elakhdar, I., Khedr, R., Hamwieh, A., Capo-chichi, L.J.A., Abdelsatter, M., Franckowiak, A., & Qualset, C.O. (2022). Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104965. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965

Gerard, G.S., Crespo-Herrera, L.A., Crossa, J., Mondal, S., Velu, G., Juliana, P., Huerta-Espino, J., Vargas, M., Rhandawa, M.S., Bhavani, S., Braun, H., & Singh, R.P. (2020). Grain yield genetic gains and changes in physiological related traits for CIMMYT's high rainfall wheat screening nursery tested across international environments. *Field Crops Research*, 249, 107742. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107742

Jahufer, M.Z.Z. Casler, M.D. (2015). Application of the Smith-Hazel selection index for improving biomass yield and quality of switch grass. *Crop Science*, 55, 1212-1222. https://doi.org/10.2135/cropsci2014.08.0575

Martínez-López, J. A., López-Urrea, R., Martínez-Romero, Á., Pardo, J. J., Montero, J., & Domínguez, A. (2022). Sustainable production of barley in a water-scarce mediterranean agroecosystem. *Agronomy*, 12(6), 1358. https://doi.org/10.3390/agronomy12061358

Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Phenotypic diversity and relationships among a worldwide durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) germplasm collection under rainfed conditions of Iran. *Crop and Pasture Science*, 64, 87–99. https://hdl.handle.net/20.500.11766/66924

Mohammadi, R., & Geravandi, M. (2024). Multi-trait selection for agronomic performance and drought tolerance among durum wheat genotypes evaluated under rainfed and irrigated environments. *Experimental Agriculture*, 60, 1–24. https://doi.org/10.1017/S0014479723000273

Norman, P.E., Agre, P.A., Asiedu, R., & Asfaw, A. (2022). Multiple-traits selection in white guinea yam (*Dioscorea rotundata*) genotypes. *Plants*, 11, 3003. https://doi.org/10.3390/plants11213003

Olivoto, T., Lúcio, A.D.C., Silva, J.A.G., Marchioro, V.S., Souza, V.Q., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111, 2949–2960. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220

Olivoto, T., & Nardino, M. (2020). MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 7(23), 1-22. https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778

Olivoto, T., & Nardino, M., (2021). MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37, 1383-1389. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981

Oraki, A., Siahpoosh, M.R., Rahnama, A. & Lakzadeh, I. (2016). The effects of terminal heat stress on yield, yield components and some morpho-phenological traits of barley genotypes (Hordeum vulgare L.) in Ahvaz weather conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(1), 29-40. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2016.63586 [In Persian].

Salehi, F., Rahnama, A., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., & Ghorbanpour, M. (2023). Physiological and metabolic changes of safower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to terminal heat stress. *Journal of Plant Growth Regulations*, 42, 6585–600. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10911-6

Sellami, M.H., Pulvento, C. & Lavini, A. (2021). Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris Medik.*) under rainfed conditions in South Italy using multi-trait stability index (MTSI). *Agronomy*, 11, 1807. https://doi.org/10.3390/agronomy11091807

Shirvani, F., Mohammadi, R., Daneshvar, M., & Ismaili, A. (2023). Genetic variability, response to selection for agro-physiological traits, and traits-enhanced drought tolerance in durum wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 43, 810–819. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.10.009

Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2022). Application of the multi-trait genotype-ideotype distance index in the selection of top barley genotypes in the warm and dry region of Darab. *Journal of Crop Breeding*, 14 (44), 65-76. https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.65 [In Persian].

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., & Dorii, M. (2017). GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45, 500–511. https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019

Yang, W., Liu, W., Li, Y., Wang, S., Yin, L. & Deng, X. (2021). Increasing rainfed wheat yield by optimizing agronomic practices to consume more subsoil water in the Loess Plateau. *The Crop Journal*, 9, 1418–1427. https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.01.006

Yue, H., Olivoto, T., Bu, J., Li, J., Wei, J., Xie, J., Chen, S., Peng, H., Nardino, M., & Jiang, X. (2022). Multi-trait selection for mean performance and stability of maize hybrids in megaenvironments delineated using envirotyping techniques. *Frontiers of Plant Science*, 13, 1030521. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030521

Zuffo, A.M., Steiner, F., Aguilera, J.G., Teodoro, P.E., Teodoro, L.P.R. & Busch, A. (2020). Multi-trait stability index: a tool for simultaneous selection of soya bean genotypes in drought and saline stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206, 815–822. https://doi.org/10.1111/jac.12409

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal*, 7(2), 703-711.

Zali, H., Barati, A., & Pour-Aboughadareh, A. (2023a). Screening of barley elite genotypes using different selection indices based on multi-traits. *Journal of Crop Production*, *15*(4), 159–182. https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20071.2498 [In Persian].

Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., Bocianowski, J., Bujak, H., & Nowosad, K. (2023b). Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants*, 12, 1843. https://doi.org/10.3390/plants12091843

Zali, H., & Pour-Aboughadareh, A. (2023). Identification of superior genotypes of barley for cultivation the south regions of Fars province using MGIDI and FAI-BLUP indices. *Plant Productions*, 46(3), 335-351. https://doi.10.22055/ppd.2024.45295.2134 [In Persian].