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

مقاله پژوهشی

DOI:

ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی

Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes under terminal drought stress conditions using drought tolerance indices

سارا سنجانی[۱]، محمدمهدی نخجوانی مقدم[۲]، توحید نجفی میرک[۳]، فریبا نقی‌پور[۴]، امیرمحمد عابدی[۵]

چکیده

سنجانی، س.، م.م. نخجوانی مقدم، ت. نجفی میرک، ف. نقی‌پور، ا.م. عابدی. ۱۴۰۴. ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۳): ۲۳۰ -۲۱۱.**

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان غلاتی و تامین کننده بخش عمده‌ای از نیاز غذایی انسان‌های جهان است که پایداری تولید آن تحت تاثیر عوامل محیطی بویژه تنش خشکی قرار می‌گیرد. این آزمایش به‌منظور بررسی تحمل به تنش خشکی انتهای فصل در هفت ژنوتیپ گندم نان (لاین M-99-9، ارقام محلوجی، افروز، امین، فرین، آراز و تکتاز) و سه ژنوتیپ گندم دوروم (لاین‌های D-400-14، D-400-18 و رقم ماهان) در دو سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ و ۱۴۰۳-۰۴ در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج انجام شد. آزمایش در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) و تنش خشکی انتهای فصل (قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی تا انتهای مرحله رسیدگی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های گندم و برهمکنش سال و ژنوتیپ بود. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل برخی از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی بر اساس عملکرد دانه محاسبه شدند. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هارمونیک (HM) با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی وجود داشت. بر اساس نتایج بدست آمده از غربال ژنوتیپ‌های ارزیابی شده با استفاده از شاخص‌های گزینشی MGIDI، FAI-BLUP و Smith-Hazel، ارقام گندم نان افروز و فرین علاوه بر دارا بودن بیشترین مقدار عملکرد دانه، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند که برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی قابل استفاده هستند.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، گندم دوروم، تغییرات اقلیمی، قطع آبیاری و عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۰ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره ۰۴۰۲۸۶-۰۱۱-۰۳-۰۳-۰۱ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده، sanjani20_s@yahoo.com ✉)

۲- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۵- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

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:

Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes under terminal drought stress conditions using drought tolerance indices

Sanjani, S.[1], Nakhjavani Moghaddam, M.M.[2], Najafi Mirak, T.[3], Naghipour, F.[4] and Abedi, A.M.[5]

ABSTRACT

Sanjani, S., Nakhjavani Moghaddam. M. M., Najafi Mirak, T., Naghipour, F. and Abedi, A. M. 2025. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes under terminal drought stress conditions using drought tolerance indices**. Iranian Journal of Crop Sciences. 27(3): 211-230. (In Persian).**

Introduction: Wheat is one of the most important crops worldwide, providing approximately 20% of the calories and protein required for human nutrition. Recent studies have shown that drought stress has significant economic impacts on agricultural productiion worldwide, and the magnitude of these effects varies depending on regional conditions and the level of development of countries. Therefore, in view of the water scarcity crisis, the increasing frequency of droughts and the limitations of national water resources in Iran, evaluation of drought stress tolerance of wheat genotypes appears to be necessary. The objective of the present study was to identify the superior drought-tolerant bread and durum wheat genotypes using grain yield and several yield-based stress tolernace and susceptibility indices by applying various multivariate analysis models.

Materials and Methods: This experiment was conducted to evaluate tolerance to terminal drought stress in bread and durum wheat genotypes over two cropping seasons 2023–24 and 2024-25. The studied genotypes included seven bread wheat genotypes: M-99-9 and Mahluji, Afrouz, Amin, Farin, Araz, and Taktaz, and three durum wheat genotypes: D-400-14, D-400-18, and Mahan. The experiment was carried out under two irrigation regimes, optimal irrigation and terminal drought stress (irrigation withheld from the anthesis stage; Zadoks 61), using a randomized complete block design with three replications. Seeds were sown mid-November with density: 400 m^{-2} (bread wheat), 450 m^{-2} (durum wheat). In normal irrigation maintained soil moisture at field capacity, and ceased post-pollination for drought stress conditions. Plots were harvested by a Wintersteiger plot combine. After collecting experimental data and estimating grain yield, several yield-based drought tolerance and susceptible indices were calculated. A heatmap-based correlation method was used to investigate association among calculated indices and grain yield. Three selection indices such as multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI), factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction (FAI-BLUP), and Smith-Hazel (SH) were exploited to identify the superior tolerant- genotypes.

Results: Combined analysis of variance for grain yield data showed significant effects of year and genotype as well as the interaction effects for genotype × year for both optimal irrigation and terminal drought conditions. The results showed that on average, in two years of the experiment, grain yield decreased by 32.8% under terminal drought stress conditions compared to optimal irrigation conditions, the highest of which was related to the Mahluji cultivar in the and the lowest was related to the D-400-18 durum wheat genotype in first cropping sesason. The result for screening wheat genotypes using drought tolerance and susceptible indices revealed reasonable

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

repeatability, therefore some of the investigated genotypes appeared in the same pattern in each year of experiments. Based on the Pearson's correlation, grain yields (Yp and Ys) positively and significantly correlated with MP, GMP, HM and STI indices in the first year. In the second year, a positive and significant correlation was observed between grain yield in terminal drought condition with STI, MP, GMP, and HM indices. Based on the averaged two-cropping seasons, grain yields significantly and positively correlated with HM, STI, MP, and GMP indices, supporting the repeatability of our findings. To identify the superior tolerant wheat genotypes based on multi-indices, we used three multi-trait selection indices such as MGIDI, FAI- BLUP, and Smith-Hazel. Genotypes G4 and G5, in the first cropping season, G2 and G7, in the second cropping season, and genotypes G2, G5 over two cropping seasons were selected as superior genotypes using the MGIDI index. Based on the FAI-BLUP index, G2 and G3 were identified as the superior drought tolerant genotypes in the first cropping season, and G2 and G5 in the second cropping season and in over two cropping seasons. The result of screening genotypes using the Smith-Hazel index showed that genotypes including G2 and G5 were identified as the high-yielding and tolerant genotypes in second cropping seasoin and in average over two cropping seasons. Based on three selection indices revealed that genotype numbers G2 (Afrouz) and G5 (Farin) were superior genotypes.

Conclusion: This experiment evaluated and compared the responses of different bread and durum wheat genotypes to terminal drought stress using drought tolerance indices. The results indicated that all examined wheat genotypes were affected by terminal drought stress, resulted in reduction of mean grain yield of approximately 32.8% compared with optimal irrigation conditions. Analysis of the relationships between grain yield and drought tolerance and susceptibility indices under both optimum and terminal drought stress conditions showed that the STI, GMP, MP, and HM indices were the most effective for identifying drought-tolerant genotypes. Furthermore, the selection indices FAI-BLUP, MGIDI, and Smith–Hazel, based on grain yield and drought tolerance and susceptibility indices, demonstrated high efficiency in selecting drought-tolerant genotypes. Overall, the cultivars Afrouz and Farin were identified as the most drought-tolerant genotypes and can be considered ideal parental lines for the development of stable cultivars adapted to dry climatic conditions.

Key words: Bread wheat, Climate change, Durum wheat, Grain yield and ithholding irrigation

Received: November, 2025 **Accepted: June, 2026**

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran (Corresponding author, ✉ sanjani20_s@yahoo.com)
2. Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran
3. Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran
4. Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran
5. PhD Student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, 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

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان است که حدود ۲۰ درصد از کالری و پروتئین مورد نیاز انسان را تأمین می‌کند. این گیاه بیشترین سطح زیر کشت را در بین گیاهان غلاتی داشته و در حدود ۲۵ درصد از کل تولید آن در سطح بین‌المللی مبادله می‌شود (Acevedo *et al.*, 2018). سطح زیر کشت گندم دیم در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در ایران ۷/۶۲ میلیون هکتار و تولید آن ۱۸/۵۹ میلیون تن و سطح زیر کشت گندم آبی ۲/۷۸ میلیون هکتار و مقدار تولید آن ۱۰/۸۳ میلیون تن گزارش شده است (Anonymous, 2024). نتایج پژوهش‌های اخیر نشان داده است که خشکسالی اثرات اقتصادی قابل توجهی بر بهره‌وری کشاورزی در سراسر جهان داشته و شدت آثار آن بسته به شرایط منطقه‌ای و میزان توسعه کشورها متفاوت است. خشکسالی سالانه باعث کاهش ۰/۳۹ تا ۰/۸۵ رشد سرانه تولید ناخالص داخلی (GDP) در سطح جهان می‌شود (Zaveri *et al.*, 2023). گزارش شده است که طی ۴۰ سال گذشته مناطق حساس به خشکسالی در سطح جهان حدود یک میلیون و دویست کیلومتر مربع افزایش یافته و زمین‌های کشاورزی جزء آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌ها هستند (Li *et al.*, 2024). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا پایان قرن بیست و یکم، سطح زیر کشت گندم که در معرض خشکسالی قرار می‌گیرد، تا ۶۰ درصد افزایش و تنش خشکی از طریق تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی، باعث کاهش قابل توجه عملکرد گندم می‌شود (Bohra *et al.*, 2024). تغییرات اقلیمی و وقوع خشکسالی در مناطق اصلی تولید گندم، دستاوردهای بزرگ انقلاب سبز را که طی آن عملکرد جهانی گندم از حدود یک تن در هکتار در دهه ۱۹۶۰ به ۳/۵ تن در سال‌های اخیر رسیده است تهدید می‌کند (Langridge *et al.*, 2022).

با توجه به بحران کم آبی و وقوع خشک‌سالی‌های مکرر و همچنین محدودیت منابع آبی کشور، ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی و شناسایی شاخص‌های مرتبط با تحمل خشکی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راهکارهای مقابله با تنش‌های خشکی انتهای فصل، اصلاح ارقامی است که آب قابل دسترس را با کارآیی بیشتری مصرف نموده و به تنش خشکی انتهای فصل متحمل‌تر باشند. برای ارزیابی عملکرد ارقام گیاهی در شرایط کم‌آبی، از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی استفاده می‌شود. در همین ارتباط شاخص‌های مهمی مانند شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index; STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity; GMP)، میانگین بهره‌وری (Mean Productivity; MP)، میانگین هارمونیک (Harmonic Mean; HM)، شاخص عملکرد (Yield Index; YI)، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility; SSI)، شاخص تحمل (Tolerance; TOL) و شاخص پایداری عملکرد (Yiled stability index; YSI) معرفی شده‌اند. پژوهش‌های انجام شده روی گندم، کلزا و پنبه نشان داد که شاخص‌های STI، GMP، MP، HM و YI با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش همبستگی مثبت داشته و برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر قابل استفاده هستند (Yarahmadi *et al.*, 2020; Khalili *et al.*, 2012). در مقابل، شاخص‌های SSI و TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مطلوب عملکرد بالایی داشته، اما به خشکی حساس‌ترند، مناسب هستند (Yarahmadi *et al.*, 2020). این شاخص‌ها امکان اجرای برنامه‌های غربالگری کارآمد برای توسعه ارقام متحمل به خشکی در گیاهان مختلف زراعی را فراهم می‌کنند. گزارش شده است که GMP، STI و MP قابل اعتمادترین شاخص‌ها برای غربالگری گندم در شرایط کمبود آب هستند (Nouraein *et al.*, 2013). رحمتی و همکاران (Rahmati *et al.*, 2020) در آزمایش روی ۱۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی گزارش نمودند که اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر

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

عملکرد دانه معنی‌دار بود و بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه، سه ژنوتیپ امراب۳، هانا و آریا متحمل و سایر ژنوتیپ‌ها حساس به تنش خشکی بودند. آنها اظهار داشتند که با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های MP، GMP، HM و STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مناسب‌تر هستند.

نتایج ارزیابی تحمل به تنش خشکی تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم سرد ایران نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش داشتند و ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین مقدار این شاخص‌ها بودند، به عنوان متحمل به تنش خشکی شناخته شدند (Bahraini Vijuyeh *et al*., 2019). نتایج یک آزمایش روی ۱۵۴ ژنوتیپ گندم دوروم نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص‌های MP، GMP، HARM ، MRP و SIT و عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی انتهای فصل وجود داشته و شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند (Ahmadi *et al*., 2020). انتخاب بر اساس شاخص‌های مختلف غالبا نتایج متفاوتی ارائه می‌دهد، از این رو استفاده از انواع روش‌های آماری جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس، یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر شاخص‌های گزینشی جدیدی با استفاده از عملکرد دانه و سایر صفات از طریق روش‌های چند متغیره جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر معرفی شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی (Multi-trait Genotype-Ideotype Distance Index; MGIDI) (Olivoto and Nardino, 2020) و شاخص تحلیلی عاملی طراحی ایدئوتیپ از طریق بهترین پیش‌بینی خطی نااریب (Factor Analysis and Ideotype design via Best Linear Unbiased Prediction; FAI-BLUB) (Rocha *et al*., 2018) را نام برد. سودمندی استفاده از این شاخص‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به خشکی توسط محققان گزارش شده است (Jadidi *et al*., 2022).

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل، پایداری عملکرد داشته و بتوان از آن‌ها در اصلاح ارقام متحمل به خشکی برای تولید پایدار گندم استفاده کرد، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا انجام شد. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گندم نان و دوروم تحت شرایط تنش خشکی و با هدف استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی این مطالعه طی دو سال زراعی ۰۳-۱۴۰۲ و ۰۴-۱۴۰۳ به‌صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آزمایش اول در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل و تأمین نیاز آبی گیاه بر اساس کاهش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه) و آزمایش دوم در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی، کد زادوکس ۶۱، تا انتهای مرحله رسیدگی) اجرا شد. ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی شامل هفت ژنوتیپ گندم نان (لاین M-99-9 و ارقام محلوجی، افروز، امین، فرین، آراز و تکتاز) و سه ژنوتیپ گندم دوروم (لاین‌های D-400-14، D-400-18 و رقم ماهان) بودند که از برنامه‌های به‌نژادی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انتخاب شدند (جدول ۱).

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

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Characteristics of bread and durum wheat genotypes used in the experiment

کد ژنوتیپ Genotype code	Wheat genotypes	ژنوتیپ‌های گندم	شجره Pedigree	نوع گندم Wheat type	عادت رشد Growth habit
G1	Mahluji	محلوجی	Evwyt2/Azd//Rsh*2/10120/3/Azd//HD2172/V83035/4/Morvarid/5/Sirvan	Bread wheat گندم نان	Spring
G2	Afroz	افروز	SAUAL/YANAC//SAUAL/3/BECARD/QUAIU #1	Bread wheat گندم نان	Spring
G3	M-99-9		WAXWING*2/KIRITATI//NIKNEJAD	Bread wheat گندم نان	Spring
G4	Amin	امین	KAUZ/LUCO-M/PVN/STAR/3/Yaco/2*Parus/4/Pishtaz	Bread wheat گندم نان	Spring
G5	Farin	فرین	Franclin/Rolfs07CMSS06B00013S-0Y-099ZTM-099Y-099M-2WGY-0B	Bread wheat گندم نان	Spring
G6	Araz	آراز	CROC-1/AE.TA(WX-224)//OPATA-M-85/3/PASTOR	Bread wheat گندم نان	Spring
G7	Taktaz	تکتاز	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92	Bread wheat گندم نان	Spring
G8	Mahan	ماهان	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/5/ARTICO/AJAIA_3//...	Durum wheat دوروم	Spring
G9	D-400-14		GUAYACAN INIA/GUANAY//PORRON_4/BEJAH_7/6/...	Durum wheat دوروم	Spring
G10	D-400-18		C F4 20 S/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/...	Durum wheat دوروم	Spring

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

قبل از آماده‌سازی زمین، از خاک نمونه‌برداری و توصیه کودی بر اساس نتایج تجزیه خاک انجام شد (جدول ۲). کاشت بذر در پنجره تاریخ کاشت (Sowing date window) مناسب توصیه شده برای منطقه در آبان (سال اول ۱۵ آبان و سال دوم ۲۰ آبان) با استفاده از بذرکار خطی کار آزمایشی وینتراشتایگر (Wintersteiger AG, Austria) انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی به طول ۶ متر و عرض ۲/۴۸ متر شامل چهار پشته با عرض ۶۲ سانتی‌متر و سه ردیف کاشت روی هر پشته بود. تراکم برای گندم نان ۴۰۰ بذر در متر مربع و برای گندم دوروم ۴۵۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی، دو پشته نکاشت در نظر گرفته شد. کنترل شیمیایی علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ طی دوره رشد انجام شد. کودهای فسفر و پتاس بر اساس نتایج تجزیه خاک به‌طور کامل در زمان کاشت به خاک داده شدند. کود نیتروژن در سه مرحله (زمان کاشت، مرحله پنجه‌زنی و مرحله ساقه‌دهی) به خاک داده شد. در تیمار بدون تنش (آبیاری کامل) نیاز آبی گیاه با جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی، بر اساس نمونه‌برداری از خاک و ارزیابی خصوصیات آن، تأمین شد. در تیمار تنش خشکی، آبیاری تا مرحله گرده‌افشانی (زادوکس ۶۱) انجام و پس از آن تا انتهای مرحله رسیدگی متوقف شد. رطوبت خاک قبل از هر نوبت آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد. زمان آبیاری بر اساس ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل تعیین شد. توزیع آب با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای، یک نوار آبیاری برای هر پشته، انجام و حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور حجمی در هر کرت اندازه‌گیری شد. شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در دو سال آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش خاک pH	رطوبت وزنی Weight moisture (%) ظرفیت زراعی FC	نقطه پژمردگی PWP	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)
0-20	Clay loam رسی لومی	4.1	7.15	29.4	12.2	230	8.2	0.07
20-40	Loam لومی	1.5	7.22	27.3	11.5	-	-	-
40-60	Clay loam رسی لومی	1.7	7.5	28.6	11.6	-	-	-

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۰۳-۱۴۰۲ و ۰۴-۱۴۰۳)

Table 3. Meteorological information of the experiment site (2023-24 and 2024-25)

		۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24				۱۴۰۴-۱۴۰۳ 2024-25			
		دما Temperature (˚C)				دما Temperature (˚C)			
Month	ماه	حداقل Min (˚C)	حداکثر Max (˚C)	میانگین Mean (˚C)	بارندگی Precipitation (mm)	حداقل Min (˚C)	حداکثر Max (˚C)	میانگین Mean (˚C)	بارندگی Precipitation (mm)
Nov.	آبان	8.7	19.3	14.2	19	5.1	15.3	10.2	64
Dec.	آذر	3.1	13.0	8.0	9	0	9.0	4.5	16
Jan.	دی	0	11.2	5.6	28	-1.2	7.7	3.3	26
Feb.	بهمن	-1.1	9.5	4.2	94	-3.6	6.0	1.2	38
Mar.	اسفند	-1.5	9.9	4.2	68	1.1	11.8	6.4	36
Apr.	فروردین	5.2	18.8	11.9	46	7.4	19.5	13.5	42
May	اردیبهشت	10.7	23.1	16.9	47	15.1	28.4	21.7	5
Jun.	خرداد	16.4	31.1	23.8	12	16.9	30.6	23.7	0

Source: Meteorological Organization of Iran

منبع: سازمان هواشناسی کشور

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

پس از رسیدگی، محصول کرت‌های آزمایشی پس از حذف حاشیه از دو ردیف وسط، با استفاده از کمباین آزمایشی وینتراشتایگر (Research plot harvester Classic ST 2015, WINTERSTEIGER AG, Austria) برداشت و توزین و عملکرد هر کرت تبدیل به واحد کیلوگرم در هکتار شد. تجزیه واریانس داده‌ها برای دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. شاخص‌های مربوط به تحمل و حساسیت به خشکی با استفاده از نرم افزار iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) و با معادلات مربوطه محاسبه شدند (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی مورد استفاده برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم

Table 4. Drought tolerance and susceptibility indices used for evaluation of the wheat genotypes

Index	شاخص	فرمول Formula	منبع References
Tolerance Index; TOL	شاخص تحمل	$TOL = Y_p - Y_s$	Hossain *et al.*, 1990
Mean Productivity; MP	میانگین بهره‌وری	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle and Hamblin, 1981
Stress Susceptibility Index; SSI	شاخص حساسیت به تنش	$SSI = \frac{1 - (Y_S/Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)}$	Fischer and Maurer, 1978
Stress Tolerance Index; STI	شاخص تحمل به تنش	$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2}$	Fernandez, 1992
Geometric Mean Productivity; GMP	میانگین هندسی بهره‌وری	$GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_P)}$	Fernandez, 1992
Yield Index; YI	شاخص عملکرد	$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S}$	Gavuzzi *et al.*, 1997
Yield Stability Index; YSI	شاخص پایداری عملکرد	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bouslama and Schapaugh, 1984
Harmonic Mean; HM	میانگین هارمونیک	$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{(Y_p + Y_s)}$	Schneider *et al.*, 1997

Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، TOL: شاخص تحمل،MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش،GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد

Yp; Grain yield under normal conditions, Ys; Grain yield under drought stress conditions, TOL; Tolerance Index, MP; Mean Productivity, STI; Stress Tolerance Index, GMP; Geometric Mean Productivity, HM; Harmonic Mean, SSI; Stress Susceptibility Index, YI; Yield Index, YSI; Yield Stability Index

پس از محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از شاخص‌های Smith-Hezel، MGIDI، و شاخص تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ از طریق مدل بهترین پیش‌بینی خطی نااریب (FAI-B:UP) با استفاده از بسته metan در محیط R استفاده شد (Olivoto and Lucio, 2020). ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و سایر شاخص‌های تنش با استفاده از روش پیرسون و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار R نسخه 4.5.1 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و سال بر عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این موضوع نشان دهنده تفاوت ژنتیکی میان ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی از نظر توان تولید در شرایط مختلف محیطی بر عملکرد دانه است. این موضوع امکان استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی را فراهم می‌کند.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین

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

عملکرد دانه در هر دو سال و در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی مربوط به رقم افروز در سال دوم (۸۲۵۵/۳ و ۵۴۸۱ کیلوگرم در هکتار) و و کمترین مقدار مربوط به لاین D-400-18 در سال اول (۳۲۲۰/۳ و ۲۷۴۲/۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). در هر دوسال آزمایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش ۳۲/۸ درصد کاهش داشت که بیشترین آن مربوط به رقم محلوجی در سال اول و کمترین مقدار آن مربوط به گندم دوروم لاین D-400-18 در سال اول بود (جدول ۵). اهدایی و همکاران(Ehdaie *et al.*, 2008) گزارش کردندکه تنش خشکی در دوره پرشدن دانه باعث کاهش فتوسنتز و محدود شدن اختصاص مواد حاصل از فتوسنتز جاری گیاه به دانه در گندم شد. بر این اساس کاهش عملکرد دانه در شرایط خشکی انتهای فصل را می‌توان به کاهش فتوسنتز جاری گیاه نسبت داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در برهمکنش ژنوتیپ و سال در تیمارهای بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل

Table 5. Mean comparison of grain yield of wheat genotypes in interaction of genotype and year under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) treatments

Wheat genotypes	ژنوتیپ‌های گندم	عملکرد دانه (بدون تنش) Yp (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (تنش خشکی) Ys (kg.ha^{-1})
		۰۳-۱۴۰۲ 2023-24	
Mahluji	محلوجی	6107.3	3256.6
Afrouz	افروز	7002.6	4145.3
M-99-9		6145.0	4362.3
Amin	امین	5501.6	4301.6
Farin	فرین	5551.0	4409.0
Araz	آراز	5200.0	3206.0
Taktaz	تکتاز	3704.3	2771.0
Mahan	ماهان	4811.6	3228.6
D-400-14		4312.6	3501.3
D-400-18		3220.3	2742.0
		۰۴-۱۴۰۳ 2024-25	
Mahluji	محلوجی	7182.3	4820.3
Afrouz	افروز	8255.3	5481.0
M-99-9		7089.6	4039.0
Amin	امین	7269.6	4072.6
Farin	فرین	7862.3	4722.0
Araz	آراز	6849.3	5430.3
Taktaz	تکتاز	7255.0	5353.3
Mahan	ماهان	7600.3	4585.3
D-400-14		7135.0	4379.6
D-400-18		6727.3	4950.6
	LSD (1%)	667.8	810.1

نتایج حاصل از مقادیر عددی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در سال اول، دوم و نتایج میانگین دو ساله در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم از نظر کلیه شاخص‌های مورد مطالعه تفاوت قابل توجهی داشته و واکنش متفاوتی نسبت به تنش خشکی داشتند. در سال اول رقم افروز و لاین M-99-9 از نظر شاخص‌های STI، HM و

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

GMP دارای بیشـــترین مقادیر بودند و بر این اســـاس به عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه بالا شناسایی شدند (جدول ۶). از نظر شاخص SSI و TOL لاین‌های گندم دوروم D-400-18 و D-400-14 کمترین مقادیر را داشـتند. ژنوتیپ‌های با مقادیر کم برای شـاخص TOL، تفاوت عملکرد دانه کمتری در شـــرایط تنش و بدون تنش داشـــته و ارقام با مقادیر زیاد SSI عملکرد دانه پـایین‌تری در محیط تنش خشـــکی داشـــتنـد. ارقـام محلوجی، افروز و لاین M-99-9 اگرچه از نظر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش برتر بودند، با این حال فقط از نـظر شـــاخص‌هـای STI، HM و GMP بـه عـنـوان ژنوتیپ‌های متحمل شـناخته شـدند. در سـال دوم نتایج حاصل از مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر شاخص‌های تحمل و حسـاسـیت تا حدودی متفاوت بود. ارقام گندم افروز و تکتاز بالاترین مقادیر شـاخص‌های STI، HM ، MP و GMP را داشـــتند. این دو رقم بالاترین عملکرد دانه را در شـرایط تنش خشـکی داشـتند (جدول ۶). از نظر شاخص‌های SSI و TOL ارقام آراز، تکتاز و ژنوتیپ D-400-18 کمترین مقدار را نشان دادند. با توجه به نتایج این پژوهش رقم تکتاز از نظر شـــاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش جزو ژنوتیپ‌های برتر بود و رقم افروز مشابه رقم تکتاز علاوه بر شاخص‌های ذکر شده از نظر عملکرد دانه در شـــرایط بـدون تنش نیز برتری قـابـل توجهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۷).

به منظور بررسـی تکرارپذیری نتایج بدسـت آمده از ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم از نظر هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، محاسبات بر اساس داده‌های دو ساله نیز انجام شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که رقم افروز و فرین از نظر شـــاخص‌های STI، HM ، MP و GMP بیشـترین مقدار را داشـتند. ارقام مذکور در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بالاترین عملکرد دانه را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۷). در مقابل، لاین D-400-18 کمترین مقادیر این شاخص‌ها را داشت. بر اساس شاخص تحمل (TOL)، که نشان دهنده تفاوت عملکرد بین شـرایط تنش و بدون تنش اسـت، لاین D-400-18 و رقم تکتاز به دلیل دارا بودن کمترین تفاوت عملکرد (بـه‌ترتیـب ۱۱۲۷/۵ و ۱۴۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار) به عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها شـــاخص پایداری عملکرد بالاتری را نیز داشتند (جدول ۷). بررسی شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان داد که لاین D-400-18 با مقدار ۰/۶۹ و رقم تکتاز با مقدار ۰/۷۹، کمترین میزان حســـاســـیت را به خشکی داشته و رقم محلوجی (۱/۱۹) بیشترین حساسیت را داشـــت. ســـایر پژوهشـــگران نیز گزارش داده‌اند که شـــاخص‌های GMP، MP و STI معیارهای مؤثری برای انتخاب ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا در شـــرایط تنش و بدون تنش به شمار می‌روند (Patel *et al.*, 2019).

بـا توجـه بـه اینکـه شـــاخص‌هـایی برای انتخـاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب هستند که دارای همبستگی بالا با عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشـــکی باشـــند، همبســـتگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم و شـاخص‌های تحمل و حسـاسـیت مورد بررســـی قرار گرفت. ضـــرایب همبســـتگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم با شـاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی نشان‌دهنده الگوهای معنی‌داری در روابط بین این شاخص‌ها به تفکیک سال و میانگین دو سـال بود (شـکل ۱). در سـال اول، شـاخص‌های MP، GMP ، STI و HM همبســـتگی مثبت و معنی‌داری (در ســـطح احتمال یک درصـــد) با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش داشتند (شکل A-۱). در سال دوم، شـــاخص‌های MP، GMP ، STI و HM با عملکرد دانه در شـرایط تنش خشـکی و شـاخص MP با عملکرد دانه در شـرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشـــتنـد (شـــکـل B-۱). گزارش شـــده اســـت کـه شـاخص‌هایی که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی باشـند، می‌توانند به عنوان مناسب‌ترین شـاخص‌ها برای گزینش ژنوتیـپ‌هـای متحمـل در نظر گرفتـه شـــونـد.

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

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های گندم (۰۳-۱۴۰۲ و ۰۴-۱۴۰۳)

Table 6. Mean grain yield and drought tolerance and susceptibility indices for wheat genotypes (2023-24 and 2024-25)

Wheat genotypes	ژنوتیپ‌های گندم	عملکرد دانه (بدون تنش) Yp (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (تنش خشکی) Ys (kg.ha^{-1})	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI
				۰۳-۱۴۰۲ 2023-24							
Mahluji	محلوجی	6107.3	3256.7	2850.7	4682.0	4459.8	4248.1	1.54	0.75	0.91	0.53
Afrouz	افروز	7002.7	4145.3	2857.3	5574.0	5387.8	5207.8	1.35	1.09	1.15	0.59
M-99-9		6145.0	4362.3	1782.7	5253.7	5177.5	5102.4	0.96	1.01	1.21	0.71
Amin	امین	5501.7	4301.7	1200.0	4901.7	4864.8	4828.2	0.72	0.89	1.20	0.78
Farin	فرین	5551.0	4409.0	1142.0	4980.0	4947.2	4914.5	0.68	0.92	1.23	0.79
Araz	آراز	5200.0	3206.0	1994.0	4203.0	4083.0	3966.5	1.26	0.63	0.89	0.62
Taktaz	تکتاز	3704.3	2771.0	933.3	3237.7	3203.9	3170.4	0.83	0.39	0.77	0.75
Mahan	ماهان	4811.7	3228.7	1583.0	4020.2	3941.5	3864.3	1.09	0.58	0.90	0.67
D-400-14		4312.7	3501.3	811.3	3907.0	3885.9	3864.9	0.62	0.57	0.97	0.81
D-400-18		3220.3	2742.0	478.3	2981.2	2971.6	2962.0	0.49	0.33	0.76	0.85
				۰۴-۱۴۰۳ 2024-25							
Mahluji	محلوجی	7182.3	4820.3	2362.0	6001.3	5884.0	5768.9	0.95	0.65	1.01	0.67
Afrouz	افروز	8255.3	5481.0	2774.3	6868.2	6726.6	6588.0	0.97	0.84	1.15	0.66
M-99-9		7089.7	4039.0	3050.7	5564.3	5351.2	5146.2	1.24	0.53	0.84	0.57
Amin	امین	7269.7	4072.7	3197.0	5671.2	5441.2	5220.6	1.27	0.55	0.85	0.56
Farin	فرین	7862.3	4722.0	3140.3	6292.2	6093.1	5900.3	1.15	0.69	0.99	0.60
Araz	آراز	6849.3	5430.3	1419.0	6139.8	6098.7	6057.8	0.60	0.69	1.14	0.79
Taktaz	تکتاز	7255.0	5353.3	1901.7	6304.2	6232.0	6160.8	0.76	0.72	1.12	0.74
Mahan	ماهان	7600.3	4585.3	3015.0	6092.8	5903.4	5719.8	1.14	0.65	0.96	0.60
D-400-14		7135.0	4379.7	2755.3	5757.3	5590.1	5427.7	1.11	0.58	0.92	0.61
D-400-18		6727.3	4950.7	1776.7	5839.0	5771.0	5703.9	0.76	0.62	1.03	0.74

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

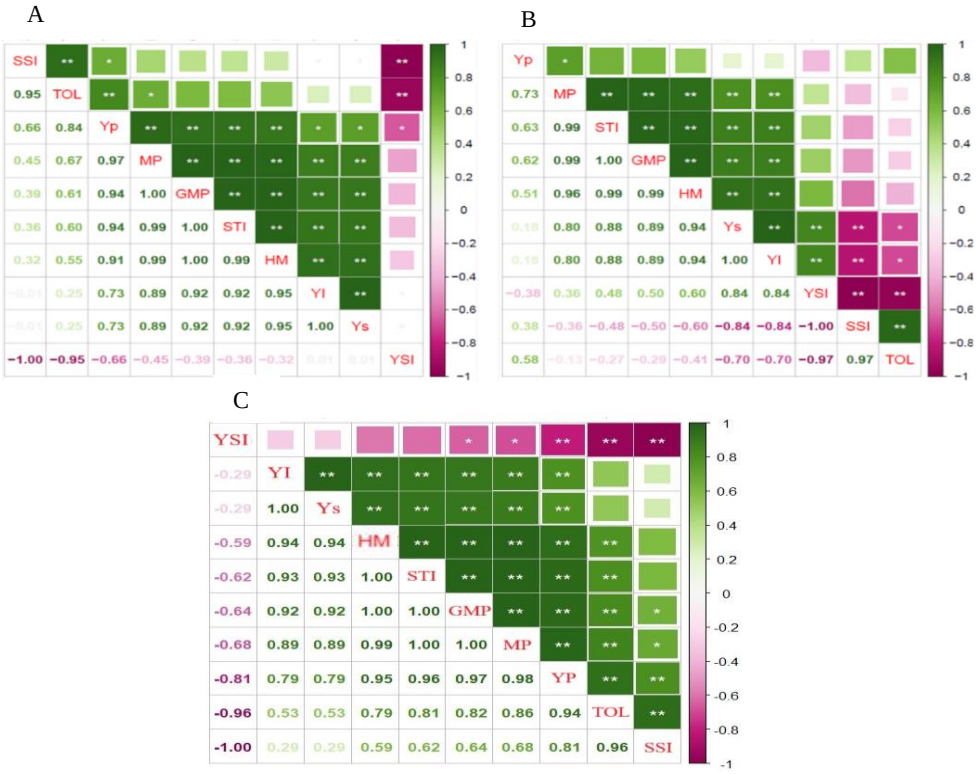
جدول ۷ – میانگین دو ساله عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های گندم

Table 7. Mean grain yield and drought tolerance and susceptibility indices for wheat genotypes (Mean of two years)

Wheat genotypes	ژنوتیپ‌های گندم	عملکرد دانه (بدون تنش) Yp (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (تنش خشکی) Ys (kg.ha^{-1})	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI
Mahluji	محلوجی	6644.8	4038.5	2606.3	5341.7	5180.3	5023.7	1.19	0.689	0.96	0.608
Afrouz	افروز	7629.0	4813.2	2815.8	6221.1	6059.7	5902.5	1.12	0.943	1.15	0.631
M-99-9		6617.3	4200.7	2416.7	5409.0	5272.3	5139.1	1.11	0.714	1.00	0.635
Amin	امین	6385.7	4187.2	2198.5	5286.4	5170.9	5057.8	1.05	0.687	1.00	0.656
Farin	فرین	6706.7	4565.5	2141.2	5636.1	5533.5	5432.7	0.97	0.787	1.09	0.681
Araz	آراز	6024.7	4318.2	1706.5	5171.4	5100.5	5030.6	0.86	0.668	1.03	0.717
Taktaz	تکتاز	5479.7	4062.2	1417.5	4770.9	4718.0	4665.6	0.79	0.572	0.97	0.741
Mahan	ماهان	6206.0	3907.0	2299.0	5056.5	4924.1	4795.2	1.13	0.623	0.93	0.630
D-400-14		5723.8	3940.5	1783.3	4832.2	4749.2	4667.6	0.95	0.579	0.94	0.688
D-400-18		4973.8	3846.3	1127.5	4410.1	4373.9	4338.0	0.69	0.491	0.92	0.773

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

شاخص‌هایی مانند میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص تحمل تنش (STI)، دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش دارند (Drikvand *et al.*, 2012; Mohammed and Kadhem, 2017). به منظور بررسی تکرارپذیری، روابط بین شاخص‌ها با عملکرد دانه براساس میانگین دو ساله نیز انجام شد (شکل۱-C). شاخص‌های عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (Ys) با یکدیگر همبستگی مثبت و بالایی (۰/۷۹) داشتند، این موضوع نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، معمولاً در شرایط تنش نیز عملکرد خوبی دارند که این موضوع با گزارش‌ها در گیاه جو مطابقت دارد (Feizi *et al.*, 2020). شاخص‌های MP، GMP ، STI و HM در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با Yp و Ys داشتند. بر این اساس، شاخص‌های یاد شده را می‌توان به عنوان شاخص‌های برتر جهت غربالگری مواد ژنتیکی در برنامه‌های به نژادی در نظر گرفت. این یافته ها با نتایج سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Nouraein *et al.*, 2013).



شکل۱- همبستگی عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی بر اساس داده‌های سال اول (A)، سال دوم (B) و میانگین دو سال (C)

Fig. 1. Correlation coefficients between grain yield and drought tolerance and susceptiblity indices for the first year (A), second year (B), and mean of two-years (C)

*and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

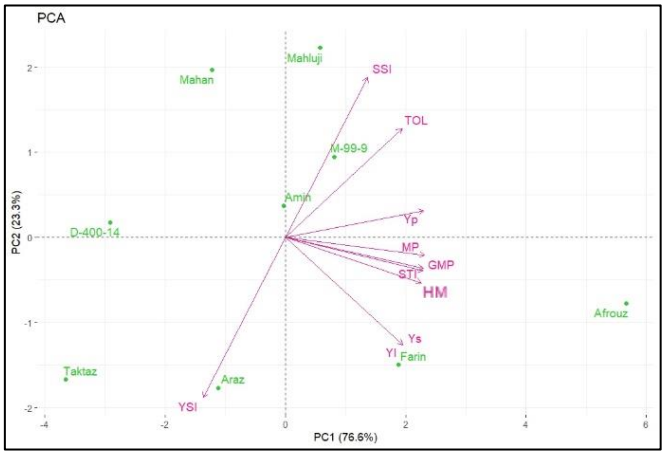
Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، TOL: شاخص تحمل،MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش،GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد

Yp; Grain yield under normal conditions, Ys; Grain yield under drought stress conditions, TOL; Tolerance Index, MP; Mean Productivity, STI; Stress Tolerance Index, GMP; Geometric Mean Productivity, HM; Harmonic Mean, SSI; Stress Susceptibility Index, YI; Yield Index, YSI; Yield Stability Index

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

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای ژنوتیپ‌های گندم و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی نشان‌دهنده توزیع معنی‌دار ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی بود (شکل ۲). مؤلفه اول ۷۶/۶ (PC1) از واریانس کل را تبیین کرد و عمدتاً با شاخص‌های عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد دانه در شرایط خشکی (Ys)، میانگین بهره‌وری (MP)، (میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص عملکرد (YI) همبستگی مثبت داشت. این مؤلفه نشان‌دهنده بعد عملکرد کلی و تحمل به تنش است که ژنوتیپ‌هایی با امتیاز مثبت بالا در این محور، برتری عملکرد را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند. مؤلفه دوم ۲۳/۳ (PC2) از واریانس را پوشش داد و تمایز بین شاخص‌های حساسیت مانند شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) در جهت مثبت و شاخص پایداری عملکرد (YSI) را در جهت منفی نشان داد. این دو مؤلفه در مجموع بیش از ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را تبیین کردند که دقت بالای تحلیل را تأیید می‌کند. نتایج یک آزمایش در گندم دوروم نشان داد که در GMP و STI تقریباً ۵۸ درصد از تغییرات عملکرد را در شرایط تنش خشکی توجیه کردند (Boussen *et al.*, 2010). تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌طور مداوم شاخص‌های چندگانه را به مؤلفه‌های کمتری کاهش می‌دهد و در عین حال توضیح واریانس بالایی را حفظ می‌کند (۹۹/۴۹ درصد). این موضوع نشان می‌دهد که این شاخص‌ها جنبه‌های مکمل تحمل به خشکی را اندازه‌گیری می‌کنند (Drikvand *et al.*, 2012). بر اساس نتایج یک آزمایش در جو، مولفه اول، ۷۶/۹ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داد و عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys)، میانگین بهره‌وری (MP)، GMP، STI و شاخص عملکرد (YI) نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفتند و این مؤلفه "پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی" نامیده شد (Subhani *et al.*, 2015). توزیع ژنوتیپ‌های گندم در نمودار بای پلات نشان دهنده واکنش آنها به شاخص‌های تحمل به تنش است (شکل ۲). در آزمایش حاضر رقم افروز در سمت راست مثبت PC1و نزدیک به شاخص‌های Yp ، MP، GMP، STIو HM قرار گرفت که نشان‌دهنده برتری عملکرد و تحمل بالای آن به تنش خشکی است. بر این اساس رقم افروز به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی طبقه‌بندی می‌شود، در مقابل رقم محلوجی ولاین M-99-9 نزدیک به SSI و TOL در سمت بالا PC2 قرار گرفتند که نشان دهنده حساسیت بیشتر آنها به تنش خشکی است. رقم آراز نزدیک به YSI در سمت پایین PC2 قرار گرفت که پایداری عملکرد را بدون عملکرد بالا نشان می‌دهد و رقم تکتاز و لاین D-400-14 در سمت چپ منفی PC1 قرار گرفته و عملکرد پایین‌تری در شرایط تنش داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که شاخص‌های STI، GMP، MP و YI می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج آزمایش مهربان و همکاران، (Mehraban *et al.*, 2018) نیز همبستگی‌های مثبت این شاخص‌ها با Yp و Ys را در گندم گزارش کرده و آن‌ها را به‌عنوان پیش بین‌های برتر نسبت به TOL و SSI معرفی کردند (Mehraban *et al.*, 2018). نتایج سایر آزمایش‌ها نیز نشان داده است که شاخص‌های STI، GMP، MP و HM مؤثرترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده گندم در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند (Mohammed and Kadhem, 2017). گزارش شده است که ژنوتیپ‌های با TOL و SSI بالا پایداری عملکرد کمتری دارند و همبستگی‌های منفی این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش نشان داد که SSI و TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌های حساس مناسب‌تر هستند (Aktas, 2016).

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

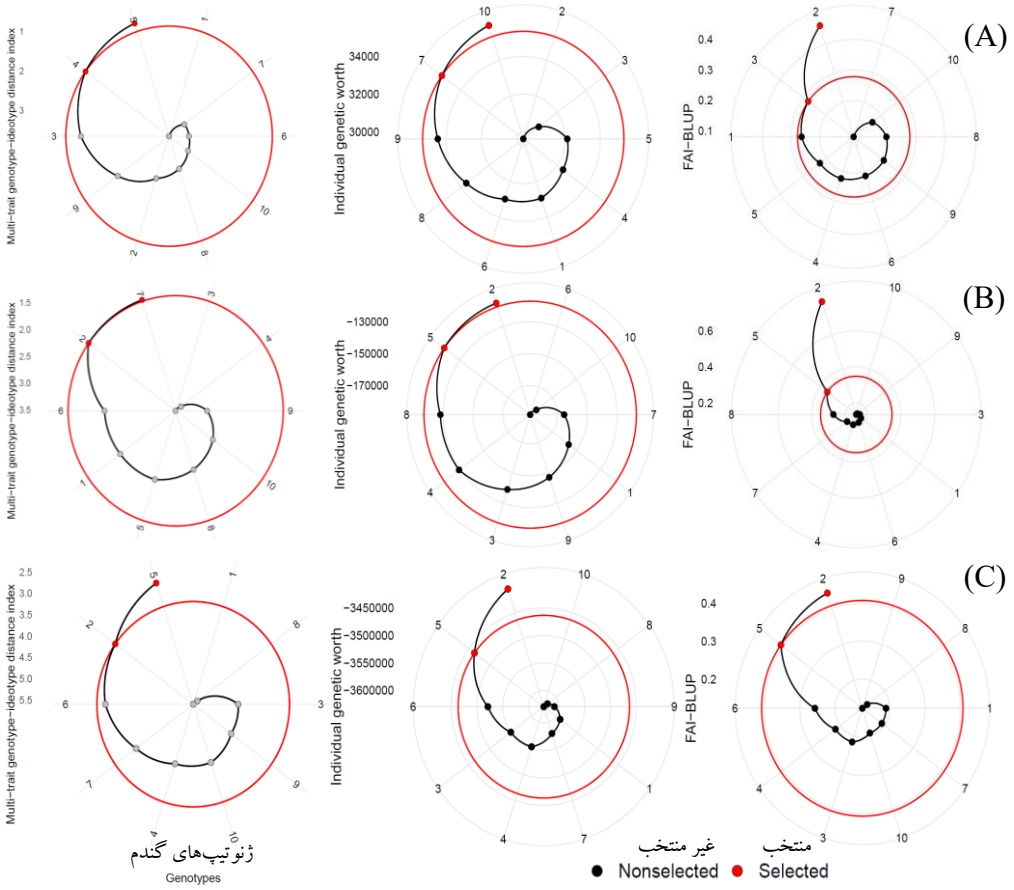


شکل ۲- نمودار بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ژنوتیپ‌های گندم و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

Fig. 2. Biplot analysis of PCA for wheat genotypes and drought tolerance indices

جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس کلیه شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد دانه از سه شاخص FAI-BLUP، MGIDI و Smith-Hazel استفاده شد. در هر یک از این مدل‌ها، هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت در کنار عملکرد دانه به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شدند. نتایج به دست آمده از مدل‌های آماری به صورت گرافیکی در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از غربال ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص MGIDI، ارقام امین و فرین در سال اول و ارقام افروز و تکتاز در سال دوم وارقام افروز و فرین در میانگین دو سال آزمایش به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی شناخته شدند (شکل ۳). رقم تکتاز و لاین D-400-18 در سال اول، ارقام افروز و فرین در سال دوم و بر اساس میانگین داده‌های دوساله به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل Smith-Hazel از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند. بر اساس شاخص FAI-BLUP نیز سه ژنوتیپ بر اساس هر یک از مجموعه داده‌ها به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند، بطوریکه در سال اول رقم افروز و لاین M-99-9 جزء ژنوتیپ‌های مطلوب بودند، در حالیکه افروز و فرین به عنوان ژنوتیپ‌های برتر بر اساس داده‌های سال دوم و میانگین داده‌های دو ساله شناخته شدند (شکل ۳). شاخص‌ها و مدل‌های آماری مبتنی بر صفات و پارامترهای مختلف، به‌عنوان ابزارهایی کارآمد و قابل اعتماد در گزینش ژنوتیپ‌ها و ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و فنوتیپ مطلوب، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از آزمایش‌های پیشین نشان داده است که استفاده از شاخص‌های گزینشی چندصفتی نقش مؤثری در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در طیف وسیعی از گیاهان زراعی از جمله گندم، جو، سویا، لوبیا و سورگوم دارند. کارایی بالای این رویکردها در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است. در همین راستا، نتایج حاصل از پژوهش حاضر با یافته‌های گزارش‌شده توسط سایر محققان مطابقت دارد (Pour-Aboughadareh *et al*., Jadidi *et al*., 2022; Olivoto *et al*., 2020;2021). با توجه به نتایج حاصل از داده‌های هر سال و میانگین دو ساله و سه شاخص مورد بررسی، مشخص شد که الگوی گزینشی یکسانی بین سه شاخص وجود نداشت. با این حال ارقام افروز و فرین به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

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



شکل ۳- نمودارهای دایره‌ای شاخص‌های MGIDI- FAI-BLUP و Smith-Hazl بر اساس میانگین داده‌های سال اول (A)، سال دوم (B) و میانگین دو سال (C) ژنوتیپ‌های گندم

Fig. 3. Circle plots depicted using on the MGIDI, FAI-BLUP, and Smith-Hazel indices for the first year (A), second year (B), and two-year means (C) of wheat genotypes

از چپ به راست و به‌ترتیب؛ دایره‌های قرمز مرکزی نشان دهنده نقطه برش بر اساس شدت انتخاب هستند. ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس هر شاخص با نقطه‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند

From left to right the central red circles indicate the determined cut-point based on selection pressure. Selected wheat genotypes highlighted by red dots

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که با هدف ارزیابی و مقایسه واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم به تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی اجرا شد نشان داد که کلیه ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی تحت تاثیر تنش خشکی انتهای فصل قرار گرفته و عملکرد دانه نسبت به شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) در حدود ۳۰ درصد کاهش یافت. ارزیابی روابط بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که از شاخص‌های STI، GMP، MP، HM می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت غربال ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی استفاده کرد. نتایج حاصل از شاخص‌های گزینشی MGIDI- FAI-BLUP و Smith-Hazl بر اساس عملکرد دانه و هریک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی نشان داد که این شاخص‌ها

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

کارایی مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی داشتند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، ارقام افروز و فرین به لحاظ تحمل بالاتر، به‌عنوان والدین مناسب برای تولید ارقام با عملکرد دانه پایدار در شرایط تنش خشکی انتهای فصل قابل استفاده هستند.

سپاسگزاری

نگارندگان از پشتیبانی‌های موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۰۴۰۲۸۶-۰۱۱-۰۳-۰۳-۰۱ سپاسگزاری می‌کنند.

منابع مورد استفاده

References

Acevedo, M., Zurn, J.D., Molero, G., Singh, P., He, X., Aoun, M. and McCandless, L., 2018. The role of wheat in global food security. *In*: Agricultural Development and Sustainable Intensification. pp.81-110. https://doi.org/10.4324/9780203733301-4

Ahmadi, G.H., Siosemarde, A., Sohrabi, Y. and Jalal Kamali, M.R., 2020. Evaluation of response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines to terminal drought stress. *Applied Research in Field Crops, 33*(1), pp.23-43. [In Persian]. doi: 10.22092/aj.2019.125259.1384

Aktaş, H., 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. *Applied Ecology and Environmental Research*, *14*(4), pp.177-189. https://doi.org/ 10.15666/aeer/1404_177189

Anonymous, 2024. Agricultural statistics of 2023-2024 cropping season. Ministry of Agriculture -Jahad, Vol. 1. [In Persian].

Bahraini Vijuyeh, V., Dadashi, M.R. and Nazeri, S.M., 2019. Assessment of tolerance to drought stress at reproductive phase in some wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) using drought tolerance and susceptibility indices. *Iranian Journal of Field Crops Research, 17*(1), pp.111-121. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.69690

Benakanahalli, N.K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A.M.M., Elansary, H.O. and Abdelmohsen, S.A.M., 2021. A framework for Identification of stable genotypes basedon MTSI and MGDII indexes: an example in guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, *11*(6), pp.1221. https://doi.org/10.3390/agronomy11061221

Bohra, A., Choudhary, M., Bennett, D., Joshi, R., Mir, R.R. and Varshney, R.K., 2024. Drought-tolerant wheat for enhancing global food security. *Functional & Integrative Genomics*, *24*(6), pp.212. https://doi.org/10.1007/s10142-024-01488-8

Bouslama, M. and Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop science*, *24*(5), pp.933- 937.

Boussen, H., Ben Salem, M., Slama, A., Mallek-Maalej, E. and Rezgui, S., 2010. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. 2th International Conference on Drought Management FAO-CIHEAM, 4-6 March 2010, Istanbul, Turkey.

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

Drikvand, R., Doosty, B. and Hosseinpour, T., 2012. Response of rainfed wheat genotypes to drought stress using drought tolerance indices. *Journal of Agricultural Science*, *4*(7), 126. https://doi.org/10.5539/JAS.V4N7P126

Ehdaie, B., Alloush, G.A. and Waines, J. G., 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research*, 106, pp.34-43.

Feizi, M., Solouki, M., Sadeghzadeh, B., Fakheri, B. and Mohammadi, S.A., 2020. Evaluation of drought tolerance indices for barley landraces under irrigated and dry conditions. *Bioscience Journal*, *36*(5), pp.1518-1527. https://doi.org/10.14393/bj-v36n5a2020-41864

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. *In:* Kuo, C.G. (Ed.) Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress: Proceedings of an International Symposium, Tainan, Taiwan.

Fischer, R.A. and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*(5), pp.897-912. https://doi.org/10.1071/AR9780897

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, 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*(4), pp.523-531. https://doi.org/10.4141/P96-130

Hossain, A.B.S., Sears, R.G., Cox, T.S. and Paulsen, G.M., 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, *30*(3), pp.622-627. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000030030x

Jadidi, O., Etminan, A., Azizi-Nezhad, R., Ebrahimi, A., & Pour-Aboughadareh, A., 2022. Physiological and molecular responses of barley genotypes to salinity stress. *Genes*, *13*(11), 2040. https://doi.org/10.3390./genes13112040

Khalili, M., Naghavi, M.R., Aboughadareh, A.P. and Talebzadeh, S.J., 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, *4*(11), pp.78. https://doi.org/10.5539/JAS.V4N11P78

Langridge, P., Alaux, M., Almeida, N.F., Ammar, K., Baum, M., Bekkaoui, F. and Zhang, X., 2022. Meeting the challenges facing wheat production: the strategic research agenda of the global wheat initiative. *Agronomy*, *12*(11), pp. 2767. https://doi.org/10.3390/agronomy12112767

Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y. and Zhou, J., 2024. Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *Journal of Hydrology*, *632*, pp.130874. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130874

Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A. and Rostaii, M., 2018. Evaluation of drought tolerance indices and yield stability of wheat cultivars to drought stress in different growth stage. *World Journal of Environmental Biosciences*, *7*(1-2018), pp.8-14.

Mohammed, A.K. and Kadhem, F.A., 2017. Screening drought tolerance in bread wheat genotypes (*Triticum*

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

aestivum L.) using drought indices and multivariate analysis. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, *48*, pp.41-55. https://doi.org/10.36103/ijas.v48ispecial.244

Nouraein, M., Mohammadi, S.A., Aharizad, S., Moghaddam, M. and Sadeghzadeh, B., 2013. Evaluation of drought tolerance indices in wheat recombinant inbred line population. *Annals of Biological Research*, *4*(3), pp.113-122.

Olivoto, T. and Lucio, A.D., 2020. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11, pp.783-789. https://doi.org/10.1111/2041-210x.13384

Olivoto, T. and Nardino, M., 2020. MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, pp.1–22. https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778

Patel, J.M., Patel, A.S., Patel, C.R., Mamrutha, H.M., Pradeep, S. and Pachchigar, K.P., 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(4), pp.1165-1178. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.134

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

Pour-Aboughadareh, A. and Poczai, P., 2021. A dataset on multi-trait selection approaches for screening desirable wild relatives of wheat. *Data in Brief*, *39*, 107541. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107541

Rahmati, H., Nakhzari Moghadam, A., Rahemi Karizaki, A. and Evarsaji, Z., 2020. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, *12*(13), pp.174-183. [In Persian]. doi: 10.29252/jcb.12.33.174

Rocha, J.R., Machado, J.C. and Carneiro, P.C.S., 2018. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *Global Change Biology and Bioenergy*, 10, pp.52–60. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013

Rosielle, A.A. and Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop science*, *21*(6), pp.943-946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P. and Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, *37*(1), pp.43-50. d https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010007x

Subhani, G.M., Ahmad, J., Anwar, J., Hussain, M. and Mahmood, A., 2015. Identification of drought tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) through stress tolerance indices. JAPS: *Journal of Animal & Plant Sciences*, *25*(3), pp.686-692.

Yarahmadi, S., Nematzade, G., Sabouri, H. and Najafi, Z.H., 2020. Relationships between drought stress

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

tolerance indices and their use in wheat screening programs. *Journal of Crop Breeding, 12*(33), pp.29-41. [In Persian]. doi: 10.29252/JCB.12.33.29

Zaveri, E.D., Damania, R. and Engle, N.L., 2023. Droughts and Deficits: The Global Impact of Droughts on Economic Growth (English). Policy research working paper ; no. WPS 10453 Washington, D.C. World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/099520405232341146

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