



Screening the Iranian and foreign durum wheat landraces using stress tolerance indices

Soheyla Ahmadi¹, Farzad Fayaz^{2*}, Amir Mohammad Najji³ and Mostafa Aghaei Sarbarzeh⁴

1. Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

(* Corresponding author: far.fayaz@iat.ac.ir)

3. Assistant Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

4. Research Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Durum wheat is considered one of the most important crop plants globally and in Iran, and its growth and yield is consistently affected by drought stress in Mediterranean regions, especially with global climate changes. However, local varieties or landraces of this crop can serve as valuable genetic resources for identifying and introducing drought-tolerant genotypes. The objective of the present study was to evaluate the drought tolerance of Iranian and foreign durum wheat landraces (primarily from the Fertile Crescent) in order to identify and introduce superior genotypes.

Materials and Methods

In this study, 150 durum wheat landraces from the Fertile Crescent were assessed for drought tolerance using stress tolerance indices. The experiment was conducted in an augmented randomized complete block design with four check varieties under supplementary irrigation and rainfed conditions in the research field of Razi University, Kermanshah, Iran, during two consecutive years (2019-2020 and 2020-2021). Stress tolerance indices were calculated after measuring grain yield under both supplementary irrigation and rainfed conditions. Cluster analysis, principal component analysis, and biplot analysis were used to screen the studied landraces for drought tolerance. R software version 4.3.1 was used to calculate stress tolerance indices and homogeneity test of variance of experimental errors. R software was used to perform principal component analysis and determine the optimal number of groups based on Silhouette method in Factoextra package.

Research findings

The results of combined analysis of variance of the two years data revealed a significant difference among the studied durum wheat landraces for grain yield under both supplementary irrigation and rainfed conditions. The interaction of genotype \times year was also significant, indicating different responses of the genotypes during two experimental years. Biplot analysis of genotype \times index for the first year data showed that all the studied stress tolerance indices appeared in the first, third, and fourth zones of the coordinate axes, but more important stress indices including MP, TOL, GMP, HM and STI were located in the fourth zone, which were used to identify superior with high yielding drought-tolerant genotypes. A similar trend with minor differences was observed in the second year. In total, the studied durum wheat landraces were categorized into four distinct groups from drought-sensitive to drought-tolerant based on the genotype \times index biplot.



Conclusion

Based on the results of this study, TOL, GMP, HM, STI and MP indices were selected as suitable and useful indices for distinguishing and identifying high-yielding drought-tolerant durum wheat landraces. Accordingly, the studied durum wheat landraces in terms of drought tolerance or sensitivity were grouped into four distinct groups from sensitive to tolerant. Among the studied landraces, two landraces, 44SAU and 9IRQ from Sudan and Iraq, respectively, were identified as superior landraces.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Drought stress, Grain yield, Rainfed

Received: May 24, 2024

Accepted: October 15, 2024

Cite this article:

Ahmadi, S., Fayaz, F., Naji, A. M., & Aghaei Sarbarzeh, M. (2024). Screening the Iranian and foreign durum wheat landraces using stress tolerance Indices. *Cereal Research*, 14(3), 231-249. doi: [10.22124/CR.2024.27293.1818](https://doi.org/10.22124/CR.2024.27293.1818).



غربال توده‌های بومی گندم دوروم ایرانی و خارجی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

سهیلا احمدی^۱، فرزاد فیاض^{۲*}، امیرمحمد ناجی^۳ و مصطفی آقایی سربرزه^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۲- استادیار، دانشکده کشاورزی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران (* نویسنده مسئول: far.fayaz@iat.ac.ir)

۳- استادیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۴- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: گندم دوروم یکی از محصولات زراعی مهم در جهان و ایران به‌شمار می‌آید که همواره در مناطق مدیترانه‌ای رشد و عملکرد آن به واسطه تنش خشکی به‌ویژه با تغییرات آب و هوایی جهانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این میان، توده‌ها و نمونه‌های ژنتیکی بومی این محصول می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی بالقوه و مناسب به‌منظور شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرند. هدف از این مطالعه، ارزیابی تحمل به خشکی توده‌های بومی گندم دوروم ایرانی و خارجی (عمدتاً از هلال حاصل‌خیز) به‌منظور شناسایی و معرفی توده‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۱۵۰ توده بومی گندم دوروم متعلق به هلال حاصل‌خیز از نظر تحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش به‌صورت آگمنت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار رقم شاهد تحت دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه طی دو سال زراعی متوالی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) انجام شد. پس از اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه و سپس برای غربال توده‌ها از نظر تحمل به خشکی، از تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات استفاده شد. برای محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش و آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی از نرم‌افزار R نسخه ۴,۳,۱ بهره گرفته شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین حد بهینه تعداد گروه‌ها نیز با استفاده از روش Silhouette در بسته Factoextra نرم‌افزار R انجام شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو سال، تفاوت آماری معنی‌داری را میان توده‌های بومی گندم دوروم از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نشان داد. برهمکنش ژنوتیپ × سال نیز معنی‌دار بود که نشان دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها طی دو سال اجرای آزمایش بود. تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص برای سال اول آزمایش نشان داد که تمامی شاخص‌های تحمل به تنش مورد بررسی در سه ناحیه اول، سوم و چهارم محورهای مختصات ظاهر شدند، اما شاخص‌های مهم‌تر شامل MP، TOL، GMP، HM و STI در ناحیه چهارم واقع شدند که در تشخیص و شناسایی توده‌های برتر با عملکرد بالا و متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گرفتند. روندی مشابه با تفاوت‌های جزئی در سال دوم آزمایش نیز مشاهده شد. در مجموع، توده‌های گندم دوروم مورد مطالعه بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص به چهار گروه متمایز از طیف حساس تا متحمل به خشکی گروه‌بندی شدند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه، شاخص‌های TOL، GMP، HM، STI و MP به‌عنوان شاخص‌های مناسب و مفید جهت تفکیک و شناسایی توده‌های گندم دوروم با عملکرد بالا و متحمل به خشکی انتخاب شدند. بر این اساس، توده‌های گندم دوروم مورد مطالعه از نظر تحمل و حساسیت به خشکی به چهار گروه متمایز از حساس تا متحمل گروه‌بندی شدند. از بین توده‌های مورد مطالعه نیز دو توده 44SAU و 9IRQ به‌ترتیب با منشأ سودان و عراق به‌عنوان توده‌های برتر شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی، دیم، عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

نحوه استناد به این مقاله:

احمدی، سهیلا، فیاض، فرزاد، ناجی، امیرمحمد، و آقایی سربرزه، مصطفی. (۱۴۰۳). غربال توده‌های بومی گندم دوروم ایرانی و خارجی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش. *تحقیقات غلات*، ۱۴(۳)، ۲۴۹-۲۳۱. doi: [10.22124/CR.2024.27293.1818](https://doi.org/10.22124/CR.2024.27293.1818)

مقدمه

در بین گیاهان زراعی، گندم دوروم از نظر اهمیت در رده دهمین محصول حائز اهمیت جهانی قرار دارد، به طوری که از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ به طور متوسط در ۱۳/۷ میلیون هکتار از اراضی جهان کشت و به طور متوسط ۳۴/۳ میلیون تن از آن برداشت شده است (IGC, 2022). در مطالعاتی که با تعداد کم‌تر گندم دوروم انجام شده است، پتانسیل پایین عملکرد گندم دوروم در مقایسه با گندم نان و تحمل به شرایط محیطی سخت (تنش خشکی) از ویژگی‌های اصلی گندم دوروم گزارش شده است (Mohammadi *et al.*, 2021). در مقابل، بررسی تعداد بیش‌تر رقم‌های گندم دوروم نشان دهنده پتانسیل بالای عملکرد آن نسبت به گندم معمولی در محیط‌های با عملکرد پایین گزارش شده است (Ayed *et al.*, 2021).

رقم‌های بومی با داشتن صفات نامطلوبی از قبیل ارتفاع بوته بیش‌تر، دیررسی و شاخص برداشت پایین، کاشت آن‌ها در بسیاری از مناطق به‌ویژه نواحی حاشیه‌ای محدود شده است، اما صفات ارزش‌مندی مانند تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارند که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان والد در دورگ‌گیری و تولید واریته‌های برتر استفاده کرد. به‌عبارت دیگر، ارقام محلی می‌توانند منبعی برای آل‌های جدید جهت به‌زادای صفات ارزش‌مند باشند (Royo *et al.*, 2021). معرفی این آل‌ها به رقم‌های جدید به‌ویژه در اصلاح برای مناطق محیطی با شرایط خاص می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد (Skovmand *et al.*, 2001; Soriano *et al.*, 2018). در حوزه مدیترانه، گندم دوروم عمدتاً به‌صورت دیم کشت می‌شود، به طوری که در این مناطق میزان و نوسانات بارندگی از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر، منجر به تنوع زیادی در عملکرد دانه می‌شود، بهبود عملکرد جهت شرایط آبی محدود یکی از چالش‌های عمده تولید به‌ویژه در شرایط تغییرات آب و هوایی کنونی است (Mazzucotelli *et al.*, 2020).

محدودیت منابع آب و بارش در ایران (با متوسط بارش کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر) و عدم مدیریت صحیح منابع آبی در سال‌های اخیر و به‌ویژه وجود تغییرات آب و هوایی اخیر، سبب افت شدید عملکرد در مناطق کاشت گندم شده است. بنابراین شناسایی دقیق رقم‌های متحمل به خشکی و مناسب برای کشت در مناطق خشک و نیمه خشک ایران یک ضرورت به‌شمار می‌آید (Geravandi *et al.*, 2010). به اعتقاد کویزنبری (Quizenberry,

1982) ژنوتیپی متحمل به خشکی است که با رطوبت کم‌تر توانایی تولید عملکرد بیش‌تری داشته باشد. فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس پاسخ به شرایط محیطی، ژنوتیپ‌ها را به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. گروه A رقم‌هایی که در هر دو شرایط تنش و مطلوب عملکرد دانه بالایی نشان می‌دهند، گروه B ژنوتیپ‌هایی که صرفاً در محیط‌های مطلوب عملکرد دانه خوبی دارند، گروه C ژنوتیپ‌هایی که صرفاً در شرایط محیطی تنش برتری عملکرد دانه را نشان می‌دهند و گروه D در هر دو شرایط وضعیت عملکرد دانه مناسبی ندارند. شاخص‌های مختلفی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شده‌اند. فیشر و موور (Fischer & Maurer, 1978) برای شناسایی رقم‌های گروه A شاخص حساسیت به تنش (SSI) را به‌عنوان بهترین معیار معرفی کردند. مقادیر کم شاخص SSI تغییرات کم عملکرد را در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش نشان داده و در واقع بیانگر پایداری بیش‌تر ژنوتیپ است. یکی از ایرادهای شاخص SSI این است که از نسبت عملکرد دانه در شرایط تنش به عملکرد دانه در شرایط بدون تنش برای هر ژنوتیپ در مقایسه با همین نسبت برای میانگین کل رقم‌های مورد مطالعه استفاده می‌کند. بنابراین، دو رقم با عملکرد بالا و پایین می‌توانند مقادیر SSI برابری داشته باشند، چون تفاوت عملکرد دانه میان شرایط تنش و نرمال یکسان است. در نتیجه این شاخص قادر به جداسازی گروه A از گروه C نخواهد بود. روزیله و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) شاخص‌های دیگری به نام شاخص‌های تحمل به خشکی (TOL) و میانگین عملکرد (MP) دانه را معرفی کردند. مقدار زیاد شاخص TOL به‌معنای کم بودن تحمل ژنوتیپ نسبت به شرایط خشکی است و بنابراین، انتخاب ژنوتیپ متحمل بر اساس مقادیر کم شاخص TOL صورت می‌پذیرد. این شاخص هم مانند شاخص قبلی قادر به تمایز گروه‌های A و C نیست، در حالی که معیار MP گرایش به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه بیش‌تر و تحمل به تنش پایین‌تر را دارد و بنابراین گروه‌های A و B را نمی‌تواند از هم تفکیک کند. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) را در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) معرفی کرد که این شاخص توانایی جداسازی بهتری برای ژنوتیپ‌های گروه A دارد، اما این شاخص هم دارای اریبی نسبت به Yp است. بنابراین، شاخص دیگری به‌نام STI معرفی شد که توانایی

توده‌های با ارزش بالا بر اساس رتبه ترکیبی GMP و STI را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفتند. غانم و الفاروق (Ghanem & Al-Farouk, 2024) مقادیر بالای MP، STI و YSI و مقادیر پایین SSI را نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد بالا و تحمل به خشکی دانستند.

با توجه به مطالب ذکر شده و لزوم شناسایی توده‌های جدید متحمل به خشکی، این آزمایش به‌منظور مقایسه توده‌های بومی ایرانی و خارجی و شناسایی توده‌های برتر متحمل به تنش خشکی و بررسی کارایی شاخص‌های تحمل به خشکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۱۵۰ توده بومی گندم دوروم ایرانی و خارجی (عمدتاً از منطقه هلال حاصل‌خیز) مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). آزمایش‌ها طی دو سال زراعی پیاپی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰) به شیوه آگمنت با استفاده از چهار رقم شاهد (ساجی، زردک، آذرده‌ژنگ و دنا) انجام شد. این ارقام بر اساس متوسط عملکرد و سطح زیر کشت در منطقه انتخاب شدند. آزمایش در هر دو سال به‌صورت دیم و آبیاری تکمیلی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا انجام شد. بافت خاک مزرعه لوم-رسی و متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۴۵۰-۵۸۰ میلی‌متر است. هر توده یا رقم در کرت‌های با ابعاد ۱ × ۱/۵ متر به‌صورت چهار خط با طول ۱/۵ متر با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم بذر ۳۰۰ دانه در متر مربع کشت شد. اطلاعات هواشناسی مزرعه طی دو سال در شکل ۱ گزارش شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های خاک‌شناسی مزرعه (۱/۶۰ درصد ازت ارگانیک، فسفات ۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاس ۳۸۹/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مقادیر کود شیمیایی ۶۵ کیلوگرم اوره در هکتار و ۸۵ کیلو سوپر فسفات تریپل محاسبه شد. در آزمایش آبیاری تکمیلی، پس از مرحله گلدهی تا رسیدگی، هر بار ۳۵ میلی‌متر آب به‌صورت آبیاری بارانی بر اساس نیاز آبی گیاه در هر مرحله رشدی و با توجه به ظرفیت زراعی خاک اعمال شد (Geravandi *et al.*, 2023). پس از برداشت دانه‌ها، عملکرد دانه در هر کرت بر حسب کیلوگرم در هکتار ثبت و سپس شاخص‌های تحمل به خشکی مطابق با روابط جدول ۲ محاسبه شدند.

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای هر دو شرایط را داشت. بوسلاما و شاپو (Bouslama & Schapaugh, 1984) شاخص پایداری عملکرد (YSI) را پیشنهاد دادند. مقادیر بالاتر این شاخص به‌معنی عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش است.

شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004) در بررسی ارقام امیدبخش گندم به‌کمک شاخص‌های خشکی به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های تحمل به خشکی (TOL)، میانگین عملکرد (MP) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) در هر دو شرایط محیطی، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند و قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پر محصول بودند. سی‌وسه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) نشان دادند که در شرایط تنش ملایم خشکی، شاخص‌های SSI، MP و GMP ابزارهای مناسبی برای شناسایی ارقام با عملکرد دانه بالا تحت شرایط تنش و نرمال هستند، اما شاخص عملکرد (YI) به‌دلیل رتبه‌بندی صرفاً بر اساس عملکرد در شرایط تنش، قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش نیست. کامرانی و همکاران (Kamrani *et al.*, 2016) در پژوهشی روی ۵۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط تنش و مطلوب، نشان دادند که شاخص‌های MP، GMP و STI قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل هستند. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2014) شاخص‌های MP، STI، YI، GMP و میانگین هارمونیک (HAM) را برای غربال ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش پیشنهاد دادند. در مطالعه‌ای دیگر که روی ۱۹۶ توده محلی گندم دوروم ایرانی و خارجی صورت گرفت، مشخص شد که مقادیر بالای شاخص‌های STI و GMP و مقادیر پایین SSI، TOL و RI نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های متحمل است و می‌توانند در شناسایی نمونه‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی مفید باشند (Geravandi *et al.*, 2023). نتایج عاید و همکاران (Ayed *et al.*, 2021) روی ۱۱ ژنوتیپ گندم دوروم نشان داد که شاخص TOL قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های حساس به خشکی است. آن‌ها ژنوتیپ‌های دارای SSI بالا و STI، MP، GMP و YSI پایین را به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی معرفی کردند. نگیشو و همکاران (Negisho *et al.*, 2022) ژنوتیپ‌های برتر متحمل به خشکی را بر اساس رتبه ترکیبی شاخص‌ها شامل DSI، RDI، TOL و YSI انتخاب کردند. آن‌ها

برای محاسبه شاخص‌های تنش و آزمون همگنی واریانس خطاها از نرم‌افزار R نسخه ۴,۳,۱ استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین حد بهینه تعداد گروه‌ها نیز با استفاده از روش Silhouette در بسته Factoextra نرم‌افزار R انجام گرفت (Kassambara, 2017).

جدول ۱- توده‌های گندم دوروم مطالعه شده در این پژوهش

Table 1. Durum wheat landraces studied in the current research

Code	Origin	Code	Origin	Code	Origin	Code	Origin
1	11RN	90	90IRN	17i	17SYR	58i	58IRQ
3	31RN	92	92IRN	18i	18JOR	59i	59IRQ
4	41RN	93	93IRN	19i	19JOR	5i	5SYR
11	111RN	95	95IRN	20i	20JOR	60i	60IRQ
12	121RN	98	98IRN	22i	22LBN	62i	62AZE
13	131RN	101	101IRN	23i	23LBN	63i	63AZE
14	141RN	108	108IRN	24i	24LBN	64i	64AZE
17	171RN	110	110TUR	25i	25LBN	65i	65AZE
18	181RN	111	111TUR	26i	26IRQ	66i	66SYR
21	211RN	112	112IRN	27i	27IRQ	67i	67SYR
22	221RN	113	113IRN	28i	28IRQ	6i	6IRQ
28	281RN	114	114IRN	29i	29IRQ	70i	70SYR
29	291RN	116	116IRN	2i	2IRQ	71i	71AFG
31	311RN	117	117IRN	30i	30IRQ	73i	73AFG
32	32AFG	118	118IRN	33i	33IRQ	74i	74AFG
33	33AFG	119	119IRN	34i	34IRQ	75i	75AFG
37	37AFG	123	123IRN	35i	35IRQ	76i	76AFG
39	39AFG	127	127IRN	37i	37AFG	77i	77AFG
42	42AFG	129	129IRN	38i	38AFG	78i	78AFG
47	47AFG	131	130IRN	39i	39AFG	79i	79AFG
51	511RN	134	131IRN	3i	3IRQ	80i	80ETH
53	531RN	135	134IRN	41i	41SAU	82i	82EGY
56	561RN	139	135IRN	43i	43SAU	84i	84IRQ
57	571RN	140	139IRN	44i	44SAU	85i	85IRQ
58	581RN	142	140IRN	45i	45SAU	88i	89AFG
59	591RN	144	142IRN	46i	56SAU	89i	89IRQ
60	601RN	145	144IRN	47i	47SAU	8i	8IRQ
62	621RN	146	145IRN	48i	48SAU	92i	92TUR
63	631RN	147	146IRN	49i	49SAU	93i	93TUR
65	651RN	148	148IRN	4i	4SYR	94i	94ETH
67	671RN	151	151IRN	50i	50IRQ	96i	96ETH
68	681RN	153	153IRN	51i	51IRQ	99i	99TUR
70	701RN	100i	100TUR	52i	52IRQ	9i	9IRQ
72	721RN	11i	11IRQ	53i	53IRQ	C1	Dena
73	731RN	12i	12IRQ	55i	55IRQ	C2	Zardak
76	761RN	14i	14IRQ	56i	56IRQ	C3	Sajei
78	781RN	15i	15IRQ	57i	57IRQ	C4	2zhang
80	801RN	16i	16SYR				

نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی

مجموع بارش ۴۳۴ میلی‌متر بارش کم‌تری در مقایسه با سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با مجموع بارش ۶۸۷ میلی‌متر، را نشان می‌دهد. اما مقایسه پراکنش بارندگی‌ها نشان می‌دهد که با وجود بارش بیش‌تر در سال دوم آزمایش، پراکنندگی آن در فصل بهار سال اول بهتر از سال دوم بوده است (۵۴ درصد در مقابل ۳۰ درصد). همچنین داده‌ها

میزان بارش و درجه حرارت محیط در دوره رشد گیاه طی دو سال در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که از نمودارها مشخص است، در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با

سال دوم بوده است. بنابراین پراکندگی بارش‌ها و دما متناسب با رشد گیاه نبود و این یکی از شاخص‌های آب و هوایی در مناطق خشک و نیمه خشک است.

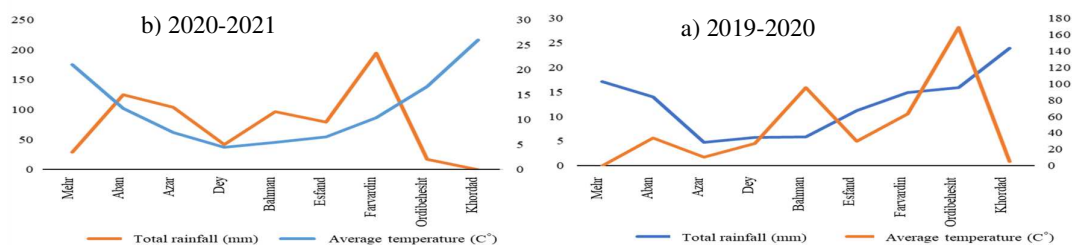
نشان می‌دهند که در هر دو سال در فصل خردادماه که برای گلدهی و دانه‌بندی گندم بسیار ضروری است، مقادیر بارش در حد صفر بوده است. در مورد درجه حرارت محیط نیز در مجموع متوسط دما در سال اول آزمایش بالاتر از

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی و فرمول‌های محاسبه آن‌ها

Table 2. Drought tolerance indices and their calculation formulas

Index	Formula †	Reference
Tolerance index	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle & Hamblin, 1981
Mean productivity	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	Rosielle & Hamblin, 1981
Geometric mean productivity	$GMP = (Y_p \times Y_s)^{\frac{1}{2}}$	Fernandez, 1992
Stress sensitivity index	$SSI = \frac{1 - (\frac{Y_s}{Y_p})}{1 - \frac{Y_s}{\bar{Y}_p}}$	Fischer & Maurer, 1978
Stress tolerance index	$STI = \frac{(Y_p \times Y_s)}{Y_p^2}$	Fernandez, (1992)
Yield stability index	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama & Schapaugh, 1984
Yield index	$YI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997
Harmonic mean	$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s}$	Bidinger <i>et al.</i> , 1987
Relative stress index	$RSI = \frac{Y_s/Y_p}{\bar{Y}_s/\bar{Y}_p}$	Fischer & Wood, 1979
Relative change	$RC = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p}$	Fischer & Maurer, 1978

† Y_p and Y_s are grain yield of each genotype under supplementary irrigation and rainfed conditions, and \bar{Y}_p and \bar{Y}_s are average grain yield of all genotypes under supplementary irrigation and rainfed conditions, respectively.



شکل ۱- متوسط بارندگی و درجه حرارت در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه طی دو سال: (a) ۱۳۹۸-۱۳۹۹، (b) ۱۴۰۰-۱۳۹۹. Figure 1. Average rainfall and temperature in the research field of Razi University, Kermanshah, Iran, during two years: a) 2019-2020; b) 2020-2021.

تجزیه واریانس عملکرد دانه

بلوک‌های ناقص در شرایط تنش معنی‌دار بود، بنابراین عملکرد دانه توده‌های مورد ارزیابی در شرایط تنش برای اثر بلوک تصحیح شد و از مقدار تصحیح شده برای انجام تجزیه‌های بعدی استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه طی دو سال اجرای آزمایش در شرایط دیم و

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) اثر بلوک تصحیح شده برای عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی معنی‌دار نشد که حاکی از تأثیر یکنواخت شرایط محیطی بر بلوک‌های ناقص است. از طرف دیگر اثر

عملکرد در توده‌های 50IRQ، 42AFG، 89IRQ، 16IRN و 280/32 و 280/88 و 280/88 کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در سال دوم آزمایش در شرایط بدون تنش، پنج توده 50IRQ، 25LBN، 57IRN، 28IRN، 48SAU به ترتیب با عملکرد دانه ۳۵۲۱/۱۲، ۳۰۴۰/۲۴، ۲۵۲۳/۴، ۲۲۴۱/۷۶ و ۲۲۰۲/۶ بیش‌ترین و پنج توده 1IRN، 131IRN و 148IRN، 80ETH، 89AFG مقادیر ۱۲۳، ۲۰۲/۶۸، ۲۴۲/۷۲، ۲۴۲/۸۴ و ۲۷۵/۷۶ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. اما در شرایط تنش در سال دوم آزمایش، توده‌های 99TUR و 56IRN، 55SYR، 58IRN، 70IRN با عملکرد ۱۷۲۲/۱۲، ۱۴۸۳/۷۶، ۱۳۶۰/۲۸، ۱۲۸۳/۶۸ و ۱۲۴۱/۱۲ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند. در حالی‌که توده‌های 96ETH، 8IRN، 116IRN و 13IRN به ترتیب با عملکرد ۴۸/۶۸، ۵۹/۲۸، ۶۹/۸۴، ۸۳/۸۴ و ۱۰۵/۱۶ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین میزان عملکرد دانه را تولید کردند.

آبیاری تکمیلی نشان داد که اختلاف آماری معنی‌دار بین دو محیط در میان توده‌های بومی وجود داشت. همچنین برهمکنش ژنوتیپ × سال به‌ویژه در شرایط دیم معنی‌دار بود (جدول ۳). وجود تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ × سال و معنی‌داری شدید اثر سال در شرایط دیم گواه خوبی برای اعمال وضعیت تنش آبی بوده که توانسته تفاوت‌های ذاتی توده‌های بومی را به‌خوبی نمایان سازد (اثر توده در همان جدول معنی‌دار است). متوسط عملکرد دانه در توده‌های بومی مورد مطالعه در سال اول و در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب ۳۳۸۴/۹۶ و ۱۶۹۲/۸۴ کیلوگرم بر هکتار بود و در سال دوم آزمایش به ترتیب ۱۰۶۶/۴۸ و ۵۰۸/۳۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. همچنین، متوسط عملکرد دانه در دو سال در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب ۲۲۲۵/۷۲ و ۱۱۰۰/۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. در سال اول آزمایش در شرایط تنش، بیش‌ترین عملکرد دانه در توده‌های 43IRN، 4IRN، 44SAU، 65AZE و 14IRQ به ترتیب با مقدار ۵۱۶۱/۸۸، ۴۷۶۱/۹۶، ۴۴۸۰/۶۴ و ۴۴۰۱/۷۲ و ۴۰۸۳/۰۴ و کم‌ترین مقدار

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه توده‌های بومی گندم دوروم طی دو سال آزمایش در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield of durum wheat landraces during two years under rainfed and supplementary irrigation conditions Mean square Source of variation

Source of variation	df	Mean square	
		Grain yield (Irrigated)	Grain yield (Rainfed)
Year	1	17559.84	193036.8**
Check	3	25024*	7244.8
Genotype	149	12741.12*	413283.2**
Block	5	15023.04	17822.4*
Genotype × Year	149	15023.04*	340678.41*
Residual variance	35	8508.16	48148.08
Coefficient of variation (%)	-	11.5	16.2

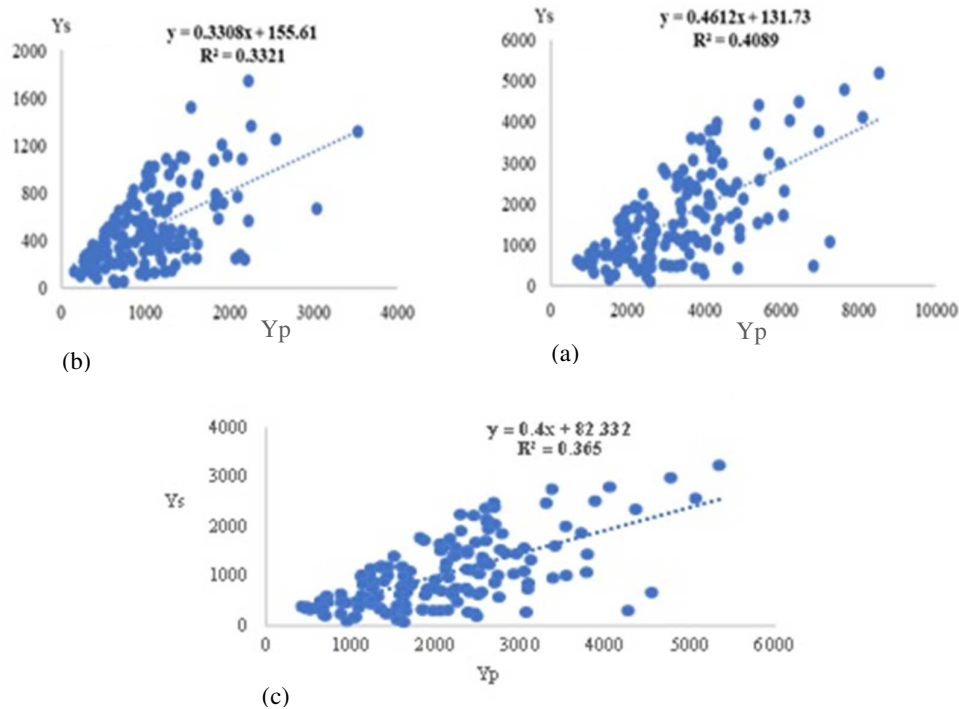
* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

شرایط بدون تنش با عملکرد دانه در شرایط دیم حکایت دارد، اما مقدار ناچیز $R^2 = 33/21$ نشان می‌دهد که انتخاب مستقیم عملکرد دانه در شرایط بدون تنش نمی‌تواند در جداسازی ژنوتیپ‌های برتر برای شرایط تنش خشکی (دیم) مؤثر باشد. همین روند در برآزش رگرسیون خطی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بر عملکرد دانه در شرایط تنش بر اساس ادغام داده‌های دو سال متوالی آزمایش (شکل ۲-c) نیز مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار ضریب تشخیص ($R^2 = 36.5\%$) بود و بنابراین انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری تکمیلی) نمی‌تواند جهت انتخاب توده‌های

نمودار رگرسیون خطی بین پتانسیل عملکرد دانه توده‌های بومی در شرایط بدون تنش بر عملکرد دانه آن‌ها در شرایط دیم در سال اول و دوم در شکل ۲ ارائه شده است. بررسی این رابطه در سال اول آزمایش (شکل ۲-a) نشان داد که با افزایش عملکرد در شرایط مطلوب، عملکرد در شرایط تنش نیز افزایش یافت، اما مقدار R^2 این رابطه در حدود ۴۰/۸۹ درصد از پراکندگی داده‌ها را توجیه کرد. نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بر عملکرد دانه در شرایط تنش در سال دوم آزمایش (شکل ۲-b) نیز روند مشابهی با سال اول آزمایش نشان داد. شیب مثبت ۰/۳۳ نشان‌دهنده افزایش عملکرد دانه در

عملکرد دانه می‌شود (Wen *et al.*, 2023). بنابراین یکی از دلایل پایین بودن مقادیر R^2 در شکل ۲ وجود عوامل و فاکتورهای متعددی است که می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم روی عملکرد نهایی تأثیرگذار باشد. همچنین، وجود سازوکارهای متفاوت تحمل و مقاومت نیز به‌طور موثری می‌توانند در این امر دخیل باشند (Chaouachi *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2021).

برتر در شرایط تنش (دیم) موثر باشد. این نتایج مطابقت کاملی را با یافته‌های پژوهش‌های صورت گرفته قبلی (Roustaii *et al.*, 2021, Geravandi *et al.*, 2023) نشان می‌دهند. تنش خشکی می‌تواند بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و رشد و نمو گیاه اثر بگذارد، به‌طوری که ایجاد تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تأثیر بر روند تجمع مواد فتوسنتزی و ایجاد اختلال در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش چشم‌گیر

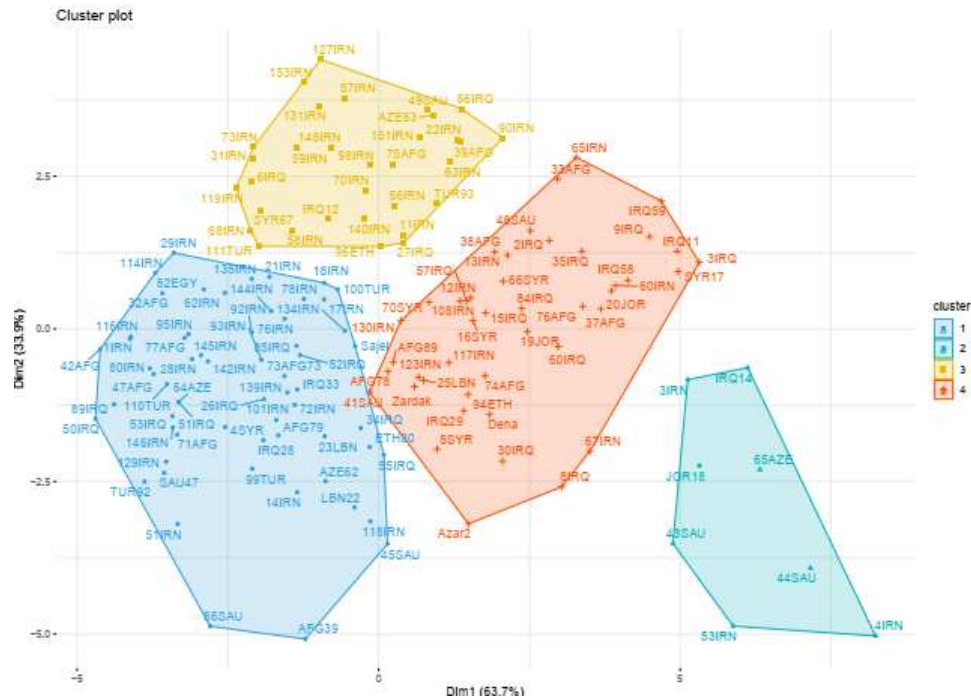


شکل ۲- رابطه رگرسیون خطی میان پتانسیل عملکرد دانه (Y_p) و عملکرد دانه در شرایط دیم (Y_s): (a) سال اول، (b) سال دوم، (c) متوسط دو سال.

Figure 2. The linear regression relationship between grain yield potential (Y_p) and grain yield under rainfed conditions (Y_s): a) First year, b) Second year, c) Average two years.

مؤلفه‌های MP ، STI ، GMP ، HM و YI به‌همراه Y_p و Y_s در یک ناحیه قرار دارند و بنابراین از آن‌ها می‌توان برای معرفی توده‌های برتر در هر دو شرایط بدون تنش و تنش استفاده کرد (Geravandi *et al.*, 2023; Mohammadi *et al.*, 2021). بر این اساس، توده‌های 43SAU، 44SAU، 41RN، 18JOR، 65AZE و 53IRN می‌توانند به‌عنوان توده‌های برتر (گروه A) برای هر دو شرایط بدون تنش و تنش در نظر گرفته شوند.

نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در سال اول به‌همراه پراکندگی توده‌ها با قید شماره و مکان جمع‌آوری آن‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. شاخص‌های YSI و RSI در ناحیه اول و SSI و TOL در ناحیه سوم مختصات قرار گرفتند و سایر شاخص‌ها از جمله Y_p ، MP ، STI ، GMP ، HM ، YI و Y_s در ناحیه چهارم مختصات واقع شدند. این مؤلفه‌ها به‌دلیل این‌که زاویه 90° درجه با هم ندارند، به‌صورت هم‌راستا عمل می‌کنند. از طرف دیگر،



شکل ۴- گروه‌بندی توده‌های گندم دوروم مورد مطالعه بر اساس حداقل فاصله از مرکز به روش Silhouette در سال اول
Figure 4. Grouping the studied durum wheat landraces with least distance from center using Silhouette method in the first year

توده‌های با منشا جغرافیایی مختلف است و به‌غیر از YSI و $RSI = 0.18$ که مثبت بودند، مقدار سایر شاخص‌ها در آن‌ها منفی است (داده‌ها ذکر نشده‌اند). بنابراین، این دسته در گروه D (دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط بدون تنش و تنش) قرار می‌گیرند. در نهایت، گروه چهارم که در بخش پایین سمت چپ نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به رنگ زرد مشخص شده است، شامل ۴۳ توده می‌باشد. در این گروه، مقدار تمامی شاخص‌های تحمل به خشکی منفی با مقادیر کم‌تر از یک است و فقط شاخص‌های SSI، Yp و TOL مثبت هستند. بنابراین، این گروه در دسته C (ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا فقط در شرایط تنش) قرار می‌گیرند. این یافته‌ها با نتایج گروه‌بندی توده‌های گندم دوروم بومی توسط گراوندی و همکاران (Geravandi *et al.*, 2023) مطابقت دارد. سنگی و همکاران (Sangi *et al.*, 2022) و شائواچی و همکاران (Chaouachi *et al.*, 2023) نیز با گروه‌بندی توده‌های گندم دوروم با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط تنش خشکی، شاخص‌های Yp، TOL و SSI به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی کردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت.

گروه‌بندی توده‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با توجه به نزدیک‌ترین فاصله از مرکز در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توده‌ها در چهار گروه دسته‌بندی شدند. گروه اول که با رنگ قرمز در گوشه پایین سمت راست شکل ۶ مشخص شده است، شامل ۱۸ توده از مناطق جغرافیایی مختلف از جمله ایران، عراق، لبنان، افغانستان، سوریه و سودان بود. در این گروه، میانگین تمامی شاخص‌های تحمل، به‌جز YSI و RSI که منفی بودند، به‌طور کلی مثبت و بالا بود. بنابراین این گروه در دسته A یعنی عملکرد بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش قرار می‌گیرد. گروه دوم (با رنگ آبی پررنگ) که توده‌های شاهد دنا، زردک و ساجی را در خود جای داده است، در کل از حدود ۵۰ توده تشکیل شد و شاخص‌های تحمل در آن از نظر جهت (منفی و مثبت بودن) مشابه گروه اول بود. در این گروه تمامی شاخص‌ها به‌غیر از $SSI = -0.84$ و $TOL = -0.49$ مثبت بودند (داده‌ها ذکر نشده‌اند). بنابراین، این گروه در دسته B تحمل به خشکی (عملکرد بالا فقط در شرایط بدون تنش) قرار دارند. گروه سوم (به رنگ آبی کم‌رنگ)، شامل دسته‌ای متنوع از

پاسخ توده‌های مورد آزمایش به شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

متوسط مقدار شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در دو سال آزمایش در جدول ۴ ارائه شده است. بر این اساس، ۲۹ توده برتر گندم دوروم در مقایسه با سایر توده‌ها از نظر هر شاخص در سال اول آزمایش در جدول ۵ و در سال دوم در جدول ۶ ارائه شده است. لازم به توضیح است که توده‌هایی به‌عنوان توده‌های برتر معرفی شدند که حداقل در سه شاخص تحمل به تنش یا بیش‌تر نسبت به سایر توده‌ها رتبه بالاتری را کسب کرده باشند. در مجموع با مقایسه‌های انجام‌شده در سال اول، ۱۸ توده برتر بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی شناسایی شدند. این توده‌ها شامل: 65AZE, 59IRQ, 44SAU, 4IRN, 90IRN, 14IRQ, 18JOR, 3IRQ, 43SAU, 33AFG, 14IRQ, 11IRQ, 3IRN, 49SAU, 9IRQ, 56IRQ, 53IRN و 56IRN بودند. بنابراین، این توده‌ها در مقایسه با سایر توده‌ها تحمل بیش‌تری نسبت به تنش خشکی در سال اول نشان دادند.

در سال دوم نیز در مجموع ۱۷ توده با اسامی 9IRQ, 50IRQ, 34IRQ, 25LBN, 57IRN, 92TUR, 71AFG, 39AFG, 44SAU, 71AFG, 80ETH, 116IRN, 47AFG, 1IRN, 75AFG, 50IRQ و 48SAU نسبت به سایر توده‌ها برتری داشتند. مقایسه توده‌های برتر بین دو سال آزمایش نشان داد که دو توده با منشأ ایران و سودان، با اسامی 9IRQ و 44SAU از برتری بیش‌تری نسبت به سایر توده‌ها برخوردار بودند. به‌نظر می‌رسد میان الگوی ژنتیکی تحمل به خشکی توده‌ها و منابع جغرافیایی منشأ آن‌ها ارتباط وجود دارد که این امر ممکن است ناشی از وجود ژن‌های متنوعی باشد که این توده‌ها در طول زمان کسب کرده‌اند و همچنین تابعی از شرایط آب و هوایی آن منطقه خاص است (Fayaz *et al.*, 2019). بررسی الگوی صفت عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن نشان داد که توده‌ها می‌توانند دارای ساختار و الگوی عملکردی متفاوتی باشند که این مساله می‌تواند در میزان تحمل آن‌ها کاملاً تأثیرگذار بوده و بررسی‌های قبلی آن را تایید می‌کند (Fayaz *et al.*, 2012).

جدول ۴- حداقل، حداکثر، دامنه تغییرات و میانگین عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی در توده‌های گندم دوروم در دو سال آزمایش
Table 4. Minimum, maximum, range and average yield and drought tolerance indices in durumwheat landraces in two experimental years

Year	Index [†]	Mean	Range	Minimum	Maximum
First year (2019-2020)	Yp	840.62	1950.93	170.65	2130.58
	Ys	420.32	1260.31	30.16	1290.47
	RC	480.85	930.47	10.64	950.11
	TOL	420.30	1560.65	10.50	1580.16
	MP	630.47	1540.98	160.54	1710.52
	GMP	570.78	1530.68	120.61	1660.29
	HM	530.41	1550.19	60.03	1610.21
	SSI	0.98	1.87	0.03	1.90
	STI	0.60	3.84	0.02	3.86
	YI	1.00	2.98	0.07	3.06
	YSI	0.51	0.93	0.05	0.98
	RSI	1.02	1.87	0.10	1.97
	Second year (2020-2021)	Yp	260.66	840.53	30.75
Ys		120.71	420.32	10.22	430.54
RC		470.98	900.90	10.47	920.36
TOL		130.95	590.08	1.9	590.27
MP		190.69	560.94	30.66	600.60
GMP		170.74	500.25	30.66	530.91
HM		160.23	460.59	20.26	480.86
SSI		0.92	1.74	0.03	1.76
STI		0.57	4.07	0.02	4.09
YI		1.00	3.33	0.10	3.43
YSI		0.52	0.91	0.08	0.99
RSI		1.09	1.91	0.16	2.07

Y_p, grain yield under supplementary irrigation; Y_s, grain yield under rainfed condition; RC, relative change; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; SSI, stress susceptibility index; YSI, yield stability index; YI, yield index, DRI, drought response index.

جدول ۵- توده‌های برتر گندم دوروم با توجه به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در سال اول آزمایش

Table 5. Superior durum wheat landraces selected based on grain yield and stress tolerance and susceptibility index in the first year

Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	SR	AR	SD
4IRN	4IRN	59IRQ	4IRN	4IRN	4IRN	59IRQ	4IRN	4IRN	59IRQ	59IRQ	3IRQ	3IRQ	85IRQ
53IRN	44SAU	65IRN	44SAU	44SAU	44SAU	65IRN	44SAU	44SAU	65IRN	65IRN	11IRQ	11IRQ	76IRN
44SAU	65AZE	127IRN	53IRN	53IRN	53IRN	56IRQ	53IRN	65AZE	56IRQ	56IRQ	17SYR	17SYR	17IRN
39AFG	14IRQ	56IRQ	65AZE	65AZE	65AZE	90IRN	65AZE	14IRQ	90IRN	90IRN	14IRQ	14IRQ	92IRN
43SAU	53IRN	153IRN	43SAU	43SAU	43SAU	3IRQ	43SAU	53IRN	3IRQ	3IRQ	59IRQ	59IRQ	93IRN
56SAU	18JOR	90IRN	18JOR	18JOR	18JOR	33AFG	18JOR	18JOR	33AFG	33AFG	9IRQ	9IRQ	52IRQ
65AZE	3IRQ	49SAU	14IRQ	14IRQ	14IRQ	11IRQ	14IRQ	3IRQ	11IRQ	11IRQ	58IRQ	58IRQ	134IRN
18JOR	3IRN	63AZE	3IRN	3IRN	3IRN	9IRQ	3IRN	3IRN	9IRQ	9IRQ	3IRN	3IRN	78IRN
Azar2	17SYR	57IRN	8IRQ	67IRN	3IRQ	49SAU	67IRN	17SYR	49SAU	49SAU	65AZE	65AZE	130IRN
45SAU	11IRQ	131IRN	67IRN	8IRQ	67IRN	63AZE	8IRQ	11IRQ	63AZE	63AZE	60IRN	60IRN	17SYR
8IRQ	43SAU	33AFG	Azar2	3IRQ	17SYR	17SYR	3IRQ	43SAU	17SYR	17SYR	20JOR	20JOR	57IRQ
67IRN	59IRQ	22IRN	39AFG	17SYR	8IRQ	22IRN	17SYR	59IRQ	22IRN	22IRN	37AFG	37AFG	144IRN
118IRN	9IRQ	39AFG	3IRQ	11IRQ	11IRQ	39AFG	11IRQ	9IRQ	39AFG	39AFG	18JOR	18JOR	3IRQ
30IRQ	58IRQ	151IRN	17SYR	58IRQ	58IRQ	127IRN	58IRQ	58IRQ	127IRN	127IRN	44SAU	44SAU	108IRN
14IRQ	60IRN	73IRN	30IRQ	37AFG	9IRQ	151IRN	37AFG	60IRN	151IRN	151IRN	35IRQ	35IRQ	100TUR
22LBN	20JOR	9IRQ	11IRQ	30IRQ	37AFG	63IRN	30IRQ	20JOR	63IRN	63IRN	76AFG	76AFG	70SYR
3IRN	37AFG	3IRQ	45SAU	Azar2	60IRN	57IRN	Azar2	37AFG	57IRN	57IRN	4IRN	4IRN	12IRN
5SYR	67IRN	11IRQ	58IRQ	60IRN	20JOR	58IRQ	60IRN	67IRN	58IRQ	58IRQ	65IRN	65IRN	60IRN
14IRN	76AFG	31IRN	37AFG	20JOR	59IRQ	35IRQ	20JOR	76AFG	35IRQ	35IRQ	33AFG	33AFG	58IRQ
62AZE	35IRQ	59IRN	20JOR	9IRQ	76AFG	14IRQ	9IRQ	35IRQ	14IRQ	14IRQ	2IRQ	2IRQ	20JOR
51IRN	8IRQ	63IRN	60IRN	60IRQ	60IRQ	2IRQ	60IRQ	8IRQ	2IRQ	2IRQ	60IRQ	60IRQ	11IRQ
Dena	60IRQ	148IRN	9IRQ	59IRQ	30IRQ	153IRN	59IRQ	60IRQ	153IRN	153IRN	43SAU	43SAU	84IRQ
55IRQ	65IRN	75AFG	60IRQ	76AFG	35IRQ	60IRN	76AFG	65IRN	60IRN	60IRN	67IRN	67IRN	Sajei
29IRQ	2IRQ	98IRN	Dena	Dena	Azar2	48SAU	Dena	2IRQ	48SAU	48SAU	53IRN	53IRN	66SYR
80ETH	33AFG	17SYR	76AFG	19JOR	19JOR	20JOR	19JOR	33AFG	20JOR	20JOR	48SAU	48SAU	76AFG
94ETH	19JOR	6IRQ	56SAU	35IRQ	Dena	131IRN	35IRQ	19JOR	131IRN	131IRN	19JOR	19JOR	142IRN
60IRQ	84IRQ	119IRN	118IRN	29IRQ	84IRQ	75AFG	29IRQ	84IRQ	75AFG	75AFG	84IRQ	84IRQ	15IRQ
74AFG	48SAU	70IRN	59IRQ	74AFG	74AFG	37AFG	74AFG	48SAU	37AFG	37AFG	66SYR	66SYR	145IRN
34IRQ	30IRQ	48SAU	5SYR	5SYR	29IRQ	93TUR	5SYR	30IRQ	93TUR	93TUR	13IRN	13IRN	28IRN

Y_p, grain yield under supplementary irrigation; Y_s, grain yield under rainfed condition; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HM, harmonic mean; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index; RSI, relative stress index; SR, sum of rank of all indices; AR, average rank of all indices; SD, standard deviation of rank of all indices; AFG, Afghanistan; AZE, Azerbaijan; IRQ, Iraq; TUR, Turkey; IRN, Iran; JOR, Jordan; SUA, Sudan; SYR, Syria.

جدول ۶- توده‌های برتر گندم دوروم با توجه به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در سال دوم آزمایش

Table 6. Superior durum wheat landraces selected based on grain yield and stress tolerance and susceptibility index in the second year

Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	SR	AR	SD
48SAU	50IRQ	11RN	48SAU	48SAU	50IRQ	71AFG	48SAU	50IRQ	71AFG	71AFG	71AFG	71AFG	63IRN
28IRN	71AFG	80ETH	50IRQ	50IRQ	48SAU	9IRQ	50IRQ	71AFG	9IRQ	9IRQ	50IRQ	50IRQ	43SAU
57IRN	25LBN	92TUR	57IRN	57IRN	25LBN	92TUR	57IRN	25LBN	92TUR	92TUR	9IRQ	9IRQ	71AFG
25LBN	48SAU	44SAU	28IRN	25LBN	57IRN	34IRQ	25LBN	48SAU	34IRQ	34IRQ	59IRN	59IRN	Azar2
50IRQ	57IRN	9IRQ	25LBN	74AFG	71AFG	80ETH	74AFG	57IRN	80ETH	80ETH	76IRN	76IRN	113IRN
78IRN	39AFG	71AFG	74AFG	71AFG	39AFG	44SAU	71AFG	39AFG	44SAU	44SAU	70SYR	70SYR	24LBN
63AZE	47AFG	34IRQ	39AFG	39AFG	74AFG	116IRN	39AFG	47AFG	116IRN	116IRN	26IRQ	26IRQ	89IRQ
74AFG	59IRN	148IRN	47AFG	47AFG	47AFG	11RN	47AFG	59IRN	11RN	11RN	116IRN	116IRN	56SAU
64AZE	26IRQ	75AFG	71AFG	28IRN	51IRQ	75AFG	28IRN	26IRQ	75AFG	75AFG	144IRN	144IRN	Dena
112IRN	74AFG	18JOR	51IRQ	51IRQ	26IRQ	93IRN	51IRQ	74AFG	93IRN	93IRN	39AFG	39AFG	38AFG
11IRQ	76IRN	3IRN	112IRN	112IRN	59IRN	114IRN	112IRN	76IRN	114IRN	114IRN	25LBN	25LBN	73AFG
47AFG	51IRQ	2IRQ	78IRN	26IRQ	22IRN	3IRN	26IRQ	51IRQ	3IRN	3IRN	4IRN	4IRN	80IRN
33IRQ	144IRN	93IRN	33IRQ	59IRN	76IRN	70SYR	59IRN	144IRN	70SYR	70SYR	35IRQ	35IRQ	Zardak
39AFG	9IRQ	116IRN	4SYR	22IRN	144IRN	111TUR	22IRN	9IRQ	111TUR	111TUR	70IRN	70IRN	79AFG
42AFG	70SYR	111TUR	22IRN	4SYR	134IRN	4IRN	4SYR	70SYR	4IRN	4IRN	34IRQ	34IRQ	90IRN
4SYR	116IRN	114IRN	26IRQ	134IRN	112IRN	18JOR	134IRN	116IRN	18JOR	18JOR	51IRQ	51IRQ	51IRN
98IRN	70IRN	130IRN	59IRN	33IRQ	145IRN	148IRN	33IRQ	70IRN	148IRN	148IRN	5SYR	5SYR	93TUR
51IRQ	22IRN	49SAU	98IRN	144IRN	4SYR	76AFG	144IRN	22IRN	76AFG	76AFG	47AFG	47AFG	76IRN
22IRN	4IRN	13IRN	134IRN	76IRN	28IRN	2IRQ	76IRN	4IRN	2IRQ	2IRQ	145IRN	145IRN	Sajei
66SYR	35IRQ	76AFG	42AFG	145IRN	70IRN	130IRN	145IRN	35IRQ	130IRN	130IRN	22IRN	22IRN	16SYR
139IRN	145IRN	4IRN	63AZE	78IRN	70SYR	35IRQ	78IRN	145IRN	35IRQ	35IRQ	118IRN	118IRN	57IRQ
134IRN	5SYR	70SYR	64AZE	98IRN	33IRQ	21IRN	98IRN	5SYR	21IRN	21IRN	114IRN	114IRN	67IRN
47SAU	134IRN	77AFG	144IRN	70IRN	9IRQ	76IRN	70IRN	134IRN	76IRN	76IRN	74AFG	74AFG	123IRN
71AFG	118IRN	21IRN	76IRN	70SYR	98IRN	118IRN	70SYR	118IRN	118IRN	118IRN	57IRN	57IRN	73IRN
58IRN	34IRQ	14IRN	11IRQ	42AFG	116IRN	49SAU	42AFG	34IRQ	49SAU	49SAU	134IRN	134IRN	70IRN
101IRN	4SYR	17SYR	145IRN	9IRQ	35IRQ	5SYR	9IRQ	4SYR	5SYR	5SYR	16SYR	16SYR	144IRN
26IRQ	114IRN	19JOR	70IRN	60IRN	60IRN	151IRN	60IRN	114IRN	151IRN	151IRN	21IRN	21IRN	5SYR
52IRQ	112IRN	151IRN	60IRN	56IRQ	5SYR	19JOR	56IRQ	112IRN	19JOR	19JOR	48SAU	48SAU	31RQ
59IRN	16SYR	89AFG	70SYR	142IRN	4IRN	50IRQ	142IRN	16SYR	50IRQ	50IRQ	93TUR	93TUR	108IRN

Y_p, grain yield under supplementary irrigation; Y_s, grain yield under rainfed condition; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HM, harmonic mean; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index; RSI, relative stress index; SR, sum of rank of all indices; AR, average rank of all indices; SD, standard deviation of rank of all indices; AFG, Afghanistan; AZE, Azerbaijan; IRQ, Iraq; TUR, Turkey; IRN, Iran; JOR, Jordan; SUA, Sudan; SYR, Syria.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر که با هدف بررسی منابع متنوعی از توده‌های گندم دوروم ایرانی و خارجی (در کل از منطقه هلال حاصل‌خیز) انجام شد، واکنش این منابع ژرم‌پلاسم که به‌دست فراموشی سپرده شده‌اند، بررسی شد تا بتوان برای حل مشکل خشکی در ایران (به‌ویژه با توجه به تغییرات شدید آب و هوای جهان) از طریق برنامه‌هایی از قبیل دورگ‌گیری و معرفی رقم جدید اقدام شود. نتایج تنوع قابل ملاحظه میان توده‌ها را نشان داد و تجزیه واریانس و تجزیه بای‌پلات شاخص × ژنوتیپ به‌خوبی این مسئله را تأیید کرد. همچنین، بهترین شاخص‌ها برای غریبال‌گری این توده‌ها، شاخص‌های MP، STI، GMP، HM و TOL بودند. بررسی نتایج دو سال نشان داد که برهمکنش شدیدی بین توده‌ها با شرایط محیطی وجود داشت، به‌طوری‌که توده‌های برتر در هر سال متفاوت بودند و فقط دو توده 9IRQ و 44SAU در هر دو سال برتری نشان دادند و پایدار بودند. این مورد می‌تواند احتمالاً به‌دلیل تنوع ژنی و آلی زیاد میان آن‌ها باشد. با توجه به این‌که دو توده 9IRQ و 44SAU در هر دو سال مورد مطالعه نسبت به سایر توده‌ها برتری داشتند، بنابراین می‌توانند پایه‌های مناسبی برای تلاقی و دورگ‌گیری باشند. البته برای تأیید یافته‌های این پژوهش لازم است آزمایش مجدداً در چند مکان و چند سال تکرار و رقم‌های

اختصاصی برای هر مکان معرفی شود. در هر صورت، این ژرم‌پلاسم به‌طور یقین می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع قابل اعتماد برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آینده مورد توجه قرار گیرد.

تضاد منافع

نویسندگان تأیید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S., & Ghobadi, M. (2014). Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(1), 101-111.
- Ayed, S., Othmani, A., Bouhaouel, I., & Teixeira da Silva, J. A. (2021). Multi-environment screening of durum wheat genotypes for drought tolerance in changing climatic events. *Agronomy*, 11(5), 875. doi: [10.3390/agronomy11050875](https://doi.org/10.3390/agronomy11050875).
- Bouslama, M., & Schapaugh Jr, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), 933-937. doi: [10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x](https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x).
- Chaouachi, L., Marín-Sanz, M., Kthiri, Z., Boukef, S., Harbaoui, K., Barro, F., & Karmous, C. (2023). The opportunity of using durum wheat landraces to tolerate drought stress: screening morpho-physiological components. *AoB PLANTS*, 15(3), 1-4. doi: [10.1093/aobpla/plad022](https://doi.org/10.1093/aobpla/plad022).
- Fayaz, F., Aghae Sarbarzeh, M., & Talebi, R. (2019). Genetic diversity and molecular characterization of Iranian durum wheat landraces (*Triticum turgidum durum* (Desf.) Husn.) using DArT markers. *Biochemical Genetics* 57(1), 98-116. doi: [10.1007/s10528-018-9877-2](https://doi.org/10.1007/s10528-018-9877-2).
- Fayaz, F., Mardi, M., Aghae, M., Darvish, F., & Talebi, R. (2012). Phenotypic diversity analysis of grain yield and yellow pigment content in germplasm collected from Iranian durum wheat (*Triticum turgidum* L.) landraces. *Archives of Agronomy & Soil Science*, 59(10), 1339-1357. doi: [10.1080/03650340.2012.708927](https://doi.org/10.1080/03650340.2012.708927).

- Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. 13-16 Aug., Shanhua, Taiwan. pp, 257-270.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912. doi: [10.1071/AR9780897](https://doi.org/10.1071/AR9780897).
- Ghanem, H. E., & Al-Farouk, M. O. (2024). Wheat drought tolerance: Mmorpho-physiological criteria, stress indexes, and yield responses in newly sand soils. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 2234-2250. doi: [10.1007/s00344-024-11259-1](https://doi.org/10.1007/s00344-024-11259-1).
- Geravandi, M., Farshadfar, E., & Kahrizi, D. (2010). Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. *Seed & Plant Improvement Journal*, 261(2), 233-252. [In Persian].
- Geravandi, M., Mohammadi, R., Cheghamirza, K., & Zarei, L. (2023). Evaluation of drought tolerance in durum wheat landraces using grain yield-based drought selection indices. *Journal of Crop Breeding*, 15(46), 166-177. [In Persian]. doi: [10.61186/jcb.15.46.166](https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.166).
- Golabadi, M., Arzani, A., & Maibody, S. A. M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1(5), 162-171.
- IGC. (2022). International Grains Council. Retrieved 26 August 2024, from <https://www.igc.int/en/default.aspx>.
- Kamrani, M., Ebadi, A., & Mehreban, A. (2016). Evaluation of grain yield-based drought tolerance indices for screening durum wheat genotypes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 405(3641), 1-17.
- Kassambara, A. (2017). Practical guide to principal component methods in R. eBook on google play. <https://goo.gl/sxQUX9>.
- Mazzucotelli, E., Sciara, G., Mastrangelo, A. M., Desiderio, F., Xu, S. S., Faris, J., Hayden, M. J., Tricker, P. J., Ozkan, H., Echenique, V., Steffenson, B. J., Knox, R., Niane, A. A., Udupa, S. M., Longin, F. C. H., Marone, D., Petruzzino, G., Corneti, S., Ormanbekova, D., Pozniak, C., Roncallo, P. F., Mather, D., Able, J. A., Amri, A., Braun, H., Ammar, K., Baum, M., Cattivelli, L., Maccaferri, M., Tuberosa, R., & Bassi, F. M. (2020). *Frontiers in Plant Science*, 11, 569905. doi: [10.3389/fpls.2020.569905](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569905).
- Mohammadi, R., Sadeghzadeh, B., Poursiahbidi, M. M., & Ahmadi, M. M. (2021). Integrating univariate and multivariate statistical models to investigate genotype × environment interaction in durum wheat. *Annals of Applied Biology*, 178(3), 450-465. doi: [10.1111/aab.12648](https://doi.org/10.1111/aab.12648).
- Negisho, K., Shibru, S., Matros, A., Pillen, K., Ordon, F., & Wehner, G. (2022). Association mapping of drought tolerance indices in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*). *Frontiers in Plant Science*, 13, 838088. doi: [10.3389/fpls.2022.838088](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.838088).
- Quizenberry, J. E. (1982). Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. In Christiansen, M. N., & Lewis, C. F. (Eds.). *Breeding Plant for Less Favorable Environments*. Wiley-Interscience, New York. pp, 289-327.
- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), 943-946. doi: [10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x).
- Roustaii, M., Jafarzadeh, J., & Eslami, R. (2021). Evaluation of drought tolerance in rainfed winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Seed & Plant*, 37(4), 425-451. [In Persian]. doi: [10.22092/CBJ.2022.359076.1075](https://doi.org/10.22092/CBJ.2022.359076.1075).
- Royo, C., Ammar, K., Villegas, D., & Soriano, J. M. (2021). Agronomic, physiological and genetic changes associated with evolution, migration and modern breeding in durum wheat. *Frontiers in Plant Science*, 12, 674470. doi: [10.3389/fpls.2021.674470](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.674470).
- Sangi, S. E., Najaphy, A., Cheghamirza, K., & Mohammadi, R. (2022). Assessment of drought tolerance indices for durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(4), 901-911. doi: [10.22077/escs.2020.3310.1842](https://doi.org/10.22077/escs.2020.3310.1842).
- Shafazadeh, M. K., Yazdan Sepas, A., Amini, A., & Ghanadha, M. R. (2004). Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed & Plant*, 20(1), 57-71. [In Persian]. doi: [10.22092/SPIJ.2017.110607](https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110607).
- Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., & Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98(2-3), 222-229. doi: [10.1016/j.fcr.2006.02.001](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.001).

- Skovmand, B., Reynolds, M. P., & Delacy, I. H. (2001). Mining wheat germplasm collections for yield enhancing traits. In: Bedö, Z., & Láng, L. (Eds.). *Wheat in a Global Environment: Developments in Plant Breeding*. Vol. 9. Springer, Dordrecht. pp, 761-771. doi: [10.1007/978-94-017-3674-9_102](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3674-9_102).
- Soriano, J. M., Villegas, D., Sorrells, M. E., & Royo, C. (2018). Durum wheat landraces from east and west regions of the mediterranean basin are genetically distinct for yield components and phenology. *Frontiers in Plant Science*, 9, 80. doi: [10.3389/fpls.2018.00080](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00080).
- Wen, P., Meng, Y., Gao, C., Guan, X., Wang, T. C., & Feng, W. (2023). Field identification of drought tolerant wheat genotypes using canopy vegetation indices instead of plant physiological and biochemical traits. *Ecological Indicators*, 154, 110781. doi: [10.1016/j.ecolind.2023.110781](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110781).
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50. doi: [10.3390/horticulturae7030050](https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050).