Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 46, Summer 2023 p: 166-177

OPEN ACCESS

"Research Paper"

Evaluation of Drought Tolerance in Durum Wheat Landraces Using Grain Yield-Based Drought Selection Indices

Mahdi Geravandi[1], Reza Mohammadi[2], Kianoosh Cheghamirza[3] and Leila Zarei[4]

1- Assistant Professor, Sararood Branch, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran, (Corresponding author: mgeravandi@gmail.com)
2- Associate Professor, Sararood Branch, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran
3- Associate Professor, Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Science and Agricultural Engeneering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran
4- Assistant Professor, Dept. of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Science and Agricultural Engeneering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran
Received: 6 December, 2022 Accepted: 24 January, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Durum wheat is considered as the 10th most important crop in the world. Drought stress is among the principal constraints to global wheat production. Improvement of new varieties having good adaptation to stressful conditions is an important goal of wheat breeding programs. In this regard, the exploitation of genetic diversity retained in landraces and wild relativesis is very important. The aim of this research was to evaluate durum wheat landraces collected from different contries for drought tolerance.

Material and Methods: In this study 196 durum wheat landraces belong to 18 countries were evaluated for drought tolerance using several yield-based drought indices. The trials were conducted in the experimental field of dryland agricultural research institute (Sararood branch) based on alpha lattice design with two replications under rainfed and supplemental irrigation conditions during 2020-2021 cropping season.

Results: Analysis of variance revealed significant environment, genotype, and genotype × environment interaction effects for grain yield. Based on genotype-by-index (GI) biplot analysis the drought selection indices were classified into four groups. The first group included drought response index (DRI), yield stability index (YSI), yield index (YI) and yield under rainfed condition. The second group composed of stress tolerance index (STI) and geometric mean productivity (GMP) which were able to select genotypes producing higher yield in both conditions. The third group included mean productivity (MP) and yield under irrigated condition. Fourth group composed of stress susceptible index (SSI), tolerance index (TOL), Schneider's Stress Severity Index (SSSI) and yield reduction percentage (RI) which were able to separate genotypes having higher yield in non-stress and low yield in stress condition. Cluster analysis identified three distinct groups having different yield performance and drought tolerance.

Conclusion: Generally, based on the results of this research, selection for higher values of DRI, STI and GMP and lower values of SSI, TOL and RI at the same time can be considered as a appropriate strategy for identification of drought tolerant landraces. The members of first group which mostly composed from landraces belong to Iran, Japan, Turkey and Afghanistan could be considered as high-yielding drought tolerant.

Keywords: Cluster analysis, Drought response index, Rainfed, Stress tolerance index

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

"مقاله پژوهشی"

بررسی تحمل خشکی توده‌های بومی گندم دوروم بر اساس شاخص‌های مبتنی بر عملکرد دانه

مهدی گراوندی[۱]، رضا محمدی[۲]، کیانوش چقامیرزا[۳] و لیلا زارعی[۴]

۱- استادیار پژوهش، معاونت سرارود، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، (نویسنده مسوول: mgeravandi@gmail.com)

۲- دانشیار پژوهش، معاونت سرارود، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۴- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۴

صفحه: ۱۶۶ تا ۱۷۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گندم دوروم به‌عنوان دهمین گیاه زراعی مهم جهان در نظر گرفته می شود. تنش خشکی از محدودیت‌های ا صلی تولید جهانی گندم ا ست. ا صلاح ارقام جدید که سازگاری منا سبی به شرایط واجد تنش دا شته با شند هدفی مهم در افزایش تولید این مح صول می‌با شد. در این را ستا بهره برداری از توده‌های بومی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از اجرای این پژوهش بررسی توده‌های بومی گندم دوروم از لحاظ تحمل خشکی و شناسایی نمونه‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۱۹۶ توده بومی گندم دوروم متعلق به ۱۸ کشور از نظر تحمل خشکی با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) و در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ، اثر محیط و اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه بود. براساس نتایج تحلیل همبستگی و تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص (GI-biplot)، شاخص‌های بررسی شده در چهار گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل شاخص پاسخ به خشکی (DRI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI) و عملکرد در شرایط دیم بود. شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی تولید (GMP) که قادر به شناسایی اکسشن‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بودند در گروه دوم جای گرفتند. شاخص میانگین بهره‌وری (MP) با عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در گروه سوم قرار گرفتند. شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، شدت تنش اشنایدر (SSSI) و درصد کاهش عملکرد (RI) که قادر به تفکیک نمونه‌های با عملکرد بالا در شرایط آبیاری تکمیلی و عملکرد پایین در شرایط دیم از مابقی نمونه‌ها بودند نیز در گروه چهارم دسته‌بندی شدند. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای توده‌های بومی مورد بررسی در سه گروه مجزا با ویژگی‌های متفاوت از لحاظ عملکرد دانه و تحمل خشکی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج این پژوهش انتخاب همزمان برای مقادیر بالای DRI، STI و GMP و مقادیر پایین SSI، TOL و RI می‌تواند در شناسایی نمونه‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی سودمند باشد. اعضای گروه اول که بیشتر از توده‌های بومی ایران، ژاپن، ترکیه و افغانستان بودند را می‌توان به‌عنوان توده‌های پر محصول و متحمل به خشکی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، شاخص پاسخ به خشکی، شاخص تحمل خشکی، دیم

مقدمه

گندم دوروم (Triticum turgidum L. ssp. durum (Desf.) Husn) دهمین گیاه زراعی مهم در جهان است و تولید جهانی آن سالانه بیش از ۳۶ میلیون تن می‌باشد (۲۴،۳). در کشور ما سالانه حدود ۳۰۰ هزار هکتار به کشت این محصول اختصاص می‌یابد که از این مقدار حدود ۰/۶ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌گردد (۱۶). آرد تولید شده از دانه‌های این محصول به‌عنوان ماده اولیه برای تهیه غذاهای سنتی و صنعتی مانند ماکارونی، بلغور، کوسکوس و برخی انواع نان‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۹).

تنش خشکی مرتبط با تغییرات آب و هوایی که به‌صورت مکرر رخ می‌دهد از جمله محدودیت‌های اصلی تولید جهانی گندم است. تلاش‌های متعددی برای کاهش اثرات تنش از طریق تولید ارقام انعطاف‌پذیر در سراسر جهان در حال انجام است. اما با توجه به توارث پیچیده تحمل خشکی و اثرات محیط پیشرفت در معرفی چنین ارقامی زیاد نیست (۱۸). با این وجود اصلاح ارقام جدید که سازگاری مناسبی به شرایط واجد تنش داشته باشند هدفی مهم در افزایش تولید و سود آوری این محصول است. افزایش بیشتر پتانسیل عملکرد، به‌ویژه در شرایط تنش، مستلزم بهره‌برداری از منابع تنوع ژنتیکی است که در مجموعه‌هایی از توده‌های بومی گندم و خویشاوندان وحشی آن قرار دارند (۳۱). در این راستا ارزیابی توده‌های بومی به‌منظور یافتن ژنوتیپ‌های برتر جهت استفاده در برنامه‌های به نژادی تحمل خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است.

توانایی ارقام زراعی برای تولید عملکرد مناسب در محیط‌های واجد تنش خشکی برای پایداری تولید بسیار مهم است. عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تحت تنش و بدون تنش می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. چندین شاخص تحمل خشکی بر اساس روابط ریاضی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است (۲۳،۱۵). روزیل و هامبلین (۲۵) شاخص تحمل[۱] (TOL) را پیشنهاد داده‌اند که بر اساس اختلاف عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش محاسبه می‌گردد. مقادیر بالای این شاخص به‌عنوان حساسیت بیشتر به تنش خشکی در نظر گرفته می‌شود. این محققین همچنین شاخص میانگین بهره‌وری[۲](MP) که به‌صورت میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌گردد را معرفی کرده‌اند. شاخص حساسیت به تنش[۳]

1-Tolerance index (TOL) 2- Mean Productivity (MP) 3- Stress Susceptibility Index (SSI)

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

(SSI) توسط فیشر و مورر (۷) معرفی گردید. مقادیر کمتر SSI نشان‌دهنده حساسیت کمتر به تنش می‌باشد. گوتیری و همکاران (۱۲) پیشنهاد کردند که مقادیر SSI بزرگتر از یک بیانگر حساسیت بالاتر از حد متوسط به تنش خشکی است. شاخص تغییر یافته اشنایدر[1] (SSSI) تحت عنوان شاخص شدت تنش اشنایدر (SSSI) توسط سینگ و همکاران (۲۹) معرفی شده است. این شاخص کاهش عملکرد یک ژنوتیپ در اثر تنش را نسبت به کاهش عملکرد جمعیت مورد بررسی قرار می‌دهد. شاخص پایداری عملکرد[2] (YSI) عملکرد در شرایط تنش را بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش تعریف می‌کند. بنابراین احتمالاً قادر است ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا را شناسایی کند (۳۰،۵). شاخص عملکرد[3] (YI) نسبت عملکرد دانه در شرایط تنش به میانگین عملکرد کل در همان شرایط را به‌عنوان معیار گزینش در نظر می‌گیرد (۸). شاخص‌های تحمل تنش[4](STI) و شاخص میانگین هندسی تولید[5] (GMP) نیز توسط فرناندز (۶) معرفی شده‌اند. این پژوهش‌گر ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد مقایسه‌ای آنها در محیط‌های تنش و بدون تنش در چهار گروه طبقه‌بندی کرد. ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش (گروه A)، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش (گروه B)، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش (گروه C)، و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در هر دو شرایط (گروه D). شاخصی مناسب است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر ژنوتیپ‌ها تمایز دهد. شاخص‌های مختلف از میزان دقت متفاوتی برخوردارند و این موضوع انجام مقایسه بین ژنوتیپ‌ها را دشوار می‌کند. از سوی دیگر، هر شاخص باید بر اساس مفهوم فیزیولوژیکی آن تفسیر شود. به‌عنوان مثال عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش منجر به مقادیر بالا برای شاخص‌های STI، MP، GMP، YSI و YI و مقادیر پایین برای شاخص‌های SSI و TOL می‌گردد (۱۵).

به‌نژادگران بیشتر به انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد دانه در محیط‌های هدف به‌عنوان معیار اصلی انتخاب تکیه دارند. با این حال، ژنوتیپی که در یک آزمایش در معرض شرایط خشکی عملکرد بالایی تولید می‌کند، لزوماً دارای صفاتی برای تحمل خشکی نیست. ممکن است چنین ژنوتیپی از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار باشد و یا به‌علت زودرس بودن از تنش خشکی فرار کرده باشد. معمولاً عملکرد در محیط‌های مستعد تنش خشکی تحت تأثیر سه جزء پتانسیل عملکرد، فنولوژی و تحمل خشکی قرار گیرد. ممکن است سهم تحمل خشکی در عملکرد واقعی دانه نسبت به پتانسیل عملکرد و فنولوژی مناسب زیاد نباشد. بنابراین، اگر غربالگری برای تحمل خشکی صرفاً بر اساس عملکرد دانه باشد، این احتمال وجود دارد که ژنوتیپ‌های انتخاب شده پتانسیل عملکرد بالا یا فنولوژی مناسب داشته باشند، اما متحمل به خشکی نباشند (۲۰). شاخص پاسخ به خشکی[6](DRI) که توسط بیدینگر و همکاران (۴) معرفی شده است عملکرد در محیط تنش را بر اساس پتانسیل عملکرد و فنولوژی تصحیح می‌کند. بنابراین این اطمینان را می‌دهد که ژنوتیپ‌های انتخاب شده واجد تحمل خشکی هستند. انتخاب مبتنی بر شاخص‌های مذکور توسط بسیاری از محققان انجام شده است (۳۰،۲۸،۲۷،۲۶،۲۳،۲۲،۲۰،۱۰،۹). در مطالعه‌ای تحمل خشکی پنج رقم و شش توده بومی گندم دوروم در چند محیطی توسط شاخص‌های MP، GMP، SSI، TOL، STI و YSI بررسی شد. بر اساس STI، MP و GMP، توده‌های بومی ۶ و ۸ به خشکی متحمل بودند (۲). در پژوهشی دیگر ۱۵ ژنوتیپ گندم دوروم انتخاب شده از پروژه مشترک ایران و ایکاردا از نظر تحمل خشکی با استفاده از چندین شاخص بررسی شدند. در این مطالعه شاخص‌های استفاده شده در سه گروه طبقه‌بندی شدند. SSI، TOL و YSI در گروه اول، STI، GMP، MP و شاخص برتری (Pi) در گروه دوم و پارامترهای سازگاری نسبی به خشکی (bN)، فاصله رگرسیون (a) و ضریب رگرسیون (b) در گروه سوم قرار گرفتند (۱۷). در پژوهشی دیگر ۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم (شامل توده های بومی، ارقام جدید و قدیمی و لاین‌های پیشرفته) از نظر تحمل خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل مبتنی بر عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. طبق نتایج این پژوهش MP، STI و GMP تکرارپذیری متوسط با دقت بالا داشتند و کارایی آنها در غربالگری ژنوتیپ‌ها بستگی زیادی به شدت تنش نداشت. SSI، TOL و YSI نیز به‌عنوان با دقت کم تشخصی داده شدند (۱۵).

با توجه به مطالب ذکر شده هدف از اجرای این پژوهش بررسی توده‌های بومی گندم دوروم موجود در بانک بذر معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود) از لحاظ تحمل خشکی، شناسایی نمونه‌های برتر و تحلیل روابط و کارایی شاخص‌های مختلف تحمل خشکی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۹۶ توده بومی گندم دوروم شامل هشت نمونه متعلق به افغانستان (AFG)، دو نمونه متعلق به آرژانتین (ARG)، دو نمونه متعلق به ارمنستان (ARM)، دو نمونه متعلق به استرالیا (AUS)، یک نمونه متعلق به اتریش (AUT)، یک نمونه متعلق به آذربایجان (AZE)، سه نمونه متعلق به بلغارستان (BGR)، یک نمونه متعلق به فرانسه (FRN)، یک نمونه متعلق به یونان (GRC)، دو نمونه متعلق به عراق (IRQ)، دو نمونه متعلق به ایتالیا (ITA)، ۱۳ نمونه متعلق به ژاپن (JPN)، پنج نمونه متعلق به پرتغال (PRT)، ۱۷ نمونه متعلق به روسیه (RUS)، دو نمونه متعلق به صربستان (SRB)، ۱۸ نمونه متعلق به ترکیه (TUR)، سه نمونه متعلق به آمریکا (USA) و ۱۱۳ نمونه متعلق به ایران (IRN) به‌همراه چهار رقم شاهد (ساجی، ذهاب، Imren و Eminbey) در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود-کرمانشاه) مورد ارزیابی قرار گرفتند. رقم ساجی دارای تیپ رشد بینابین بوده و از خزانه‌های بین‌المللی گندم دوروم دریافتی از ایکاردا انتخاب شده است. این رقم در سال ۱۳۸۸ توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور معرفی شده و از عملکرد دانه و تحمل خشکی بالایی برخوردار می‌باشد. رقم ذهاب نیز دارای تیپ رشد بینابین بوده و از مواد ژنتیکی دریافتی از ایکاردا انتخاب شده است. این رقم در سال ۱۳۹۶ توسط

1- Schneider's Stress Severity Index (SSSI) 2- Yield Stability Index (YS 3- Yield Index (YI)
4- Stress Tolerance Index (STI) 5- Geometric Mean Productivity (GMP) 6- Drought Response Index (DRI)

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور معرفی شده و عملکرد دانه و وزن هزار دانه بالایی دارد. ارقام Imren و Eminbey نیز توسط کشور ترکیه معرفی شده‌اند و از ارقام وارداتی می‌باشند. ایستگاه سرارود با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۵۱/۶ متر از سطح دریا در استان کرمانشاه و در منطقه‌ای با شرایط آب و هوایی معتدل سرد واقع شده است. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال زراعی اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. ژرم‌پلاسم مورد بررسی در دو دیم و آبیاری در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار ارزیابی شد. هر اکسشن در واحدهای آزمایشی متشکل از دو خط دو متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و با استفاده از دستگاه کارنده آزمایشی در زمینی که سال قبل آیش بود کشت شدند. با توجه به نتایج آزمایش خاک هم‌زمان با کشت ۷۵ کیلوگرم کود اوره و ۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل به خاک محل اجرای آزمایش اضافه گردید. آزمایش تنش به‌صورت دیم اجرا شد و هیچ‌گونه آبیاری در هیچ‌کدام از مراحل رشدی انجام نشد. آزمایش بدون تنش از مرحله گلدهی تا رسیدن در دو نوبت به فاصله دو هفته و هر بار به میزان ۳۰ میلی‌متر با استفاده از سیستم آبیاری بارانی آبیاری گردید. عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار با برداشت محصول هر واحد آزمایشی در زمان رسیدگی اندازه‌گیری شد و شاخص‌های مختلف تحمل خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$TOL = Y_P - Y_S$	[۱] شاخص تحمل tolerance index
$MP = (Y_P + Y_S)/2$	[۲] شاخص میانگین بهره‌وری Average productivity index
$GMP = \sqrt{(Y_P \times Y_S)}$	[۳] شاخص میانگین هندسی Geometric mean index
$SSI = (1 - (Y_S/Y_P))/(1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P))$	[۴] شاخص حساسیت به تنش Stress sensitivity index
$SSSI = \left(1 - (Y_S/Y_P)\right) - (1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P))$	[۵] شاخص شدت تنش اشنایدر Schneider's stress intensity index
$STI = (Y_P \times Y_S)/\bar{Y}_P^2$	[۶] شاخص تحمل تنشStress tolerance index
$YSI = Y_S/Y_P$	[۷] شاخص پایداری عملکردperformance stability index
$YI = Y_S/\bar{Y}_S$	[۸] شاخص عملکردperformance index
$DRI = (Y_S - Y_{est})/SE_{Yest}\ ;\ Y_{est} = a + bY_p + cDF_P$	[۹] شاخص پاسخ به خشکی Drought response index
$RP = ((Y_P - Y_S)/Y_P) \times 100$	[۱۰] درصد کاهش عملکرد در اثر تنش The percentage of yield reduction due to stress

در این رابطه‌ها Y_S، Y_P، $\bar{Y}_S$، $\bar{Y}_P$، Y_{est}، SE_{est} و DF_P، به‌ترتیب معرف عملکرد دانه در شرایط دیم، عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی، میانگین عملکرد در شرایط دیم، میانگین عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد برآورد شده برای شرایط دیم، خطای استاندارد عملکرد برآورد شده برای شرایط دیم و روز تا گلدهی در شرایط آبیاری تکمیلی هستند.

برای تجزیه داده‌ها ابتدا تجزیه واریانس ساده و مرکب (اثر محیط و ژنوتیپ تصادفی) با استفاده از نرم افزار META-R (۱) انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، یکنواختی واریانس خطای آزمایشی در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی توسط آزمون F_{Max} هارتلی مورد سنجش قرار گرفت (۱۳). از بهترین برآورد خطی نا اریب (BLUP)[1] داده‌ها در هر محیط به‌عنوان میانگین داده‌ها برای محاسبه شاخص‌های مختلف تحمل خشکی بهره گرفته شد. تجزیه GI-biplot[2] با استفاده از نرم افزار GEA-R انجام گرفت (۳۳،۲۱). تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و به کارگیری معیار فاصله اقلیدسی با استفاده از تابع hclustدر نرم‌افزار R انجام شد. ترسیم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات با استفاده از بسته Factoextra در نرم‌افزار R انجام گرفت. تعداد گروه‌های مناسب حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز با کمک روش Silhouette در نرم‌افزار R تعیین شد (۱۴).

همچنین به‌منظور محاسبه ضرایب همبستگی از نرم‌افزار R استفاده شد. محاسبه شاخص‌های مختلف تحمل خشکی نیز به کمک Excel 2013 در محیط آفیس انجام گرفت.

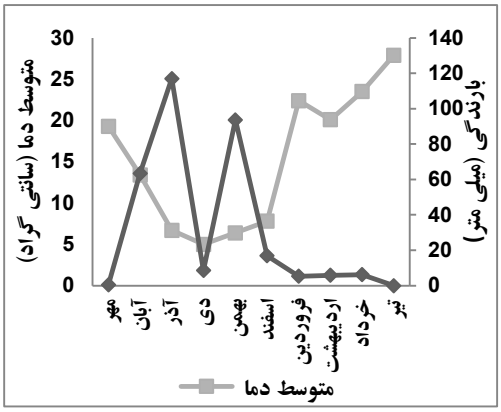
نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی

در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ میزان بارندگی در ایستگاه تحقیقاتی سرارود ۳۱۷/۵ میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین بلند مدت ۱۰۲ میلی‌متر و نسبت به سال زراعی گذشته با ۵۱۸/۸ میلی‌متر، ۳۸ درصد کاهش نشان داده است. در این سال زراعی پراکنش بارندگی در پاییز ۱۸۰/۹ میلی‌متر، در زمستان ۱۱۹/۲ میلی‌متر و در بهار فقط ۱۷/۴ میلی‌متر بود. به‌عبارت دیگر، ۵۶/۹ درصد از کل نزولات آسمان در پاییز، ۳۷/۵ درصد در زمستان و فقط ۵/۴ درصد در سه ماه بهار به وقوع پیوسته است (شکل ۱). بنابراین با توجه به پراکنش نامناسب بارندگی در این سال زراعی و بارندگی ناچیز در فصل بهار، شرایط مناسبی برای ارزیابی واکنش مواد ژنتیکی مورد بررسی به تنش خشکی فراهم بود. به‌منظور کمی سازی شدت تنش خشکی از معیار شدت تنش معرفی شده توسط فیشر و مورر (۷) استفاده شد. طبق محاسبات انجام شده شدت تنش خشکی در این آزمایش ۳۶ درصد برآورد گردید.

1- Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)
2- Genotype-by-index Biplot analysis (GI-Biplot)

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]



شکل ۱- بارندگی و متوسط درجه حرارت در طول اجرای آزمایش در ایستگاه سرارود در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹
Figure 1. Monthly rainfall and average temperature during experiment at Sararood station in 2020-2021 cropping season

تجزیه واریانس عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی حاکی از وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین توده‌های بومی مورد مطالعه بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب برای دو محیط نیز نشان داد که بین توده‌های بومی، محیط‌ها (دیم و آبی) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بیانگر واکنش متفاوت توده‌های بومی به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی می‌باشد. وجود تنوع ژنتیکی برای تحمل تنش خشکی، به‌نژادی برای افزایش تحمل این تنش را در گندم دوروم امکان‌پذیر می‌نماید. در این آزمایش در شرایط دیم متوسط عملکرد دانه ۱۹۸۹/۶ و در شرایط آبیاری تکمیلی ۳۱۳۴/۷ کیلوگرم در هکتار بود. مقادیر میانگین، حداقل، حداکثر و دامنه اعداد برای عملکرد دانه و شاخص‌های مختلف محاسبه شده در جدول ۲ خلاصه شده است. در شرایط دیم بیشترین میزان عملکرد به‌ترتیب توسط نمونه‌های ۶۲، ۱۱۸ و ۹۰ با بیش از ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن توسط نمونه‌های ۱۶۲، ۴۹، ۱۷، ۴۸، ۶ و ۱۱۶ با کمتر از ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار تولید شد. در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین میزان عملکرد به‌ترتیب به نمونه‌های ۵۸، ۱۸۳، ۷۹ و ۱۷۶ با بیش از ۴۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با عملکردی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به نمونه‌های ۱۱۱ و ۸۵ متعلق بود. درصد کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی برای توده‌های بومی مورد بررسی از ۱/۵۸ تا ۶۲/۵۳ درصد متفاوت بود. کمترین درصد کاهش عملکرد (۱/۵۸ درصد) مربوط به نمونه شماره ۱۱۱ بود. این نمونه کمترین میزان عملکرد را در شرایط آبیاری تکمیلی داشت و در شرایط دیم نیز از عملکرد کمی برخوردار بود. عملکرد دانه در شرایط دیم با عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی رابطه قابل توجهی نداشت (شکل ۲). طبق این نتایج توده‌های بومی با عملکرد بالا در شرایط آبیاری تکمیلی لزوماً عملکرد بالایی در شرایط دیم نداشته‌اند، بنابراین در این آزمایش انتخاب در شرایط آبیاری تکمیلی در شناسایی مواد ژنتیکی مناسب برای شرایط دیم نمی‌تواند رضایت بخش باشد. در مطالعه روستایی و همکاران (۲۶) نیز بین عملکرد دانه گندم نان در شرایط دیم و آبی همبستگی وجود نداشت. سی‌وسه مرده و همکاران (۳۰) نیز به عدم سودمندی انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی اشاره کرده‌اند.

روابط بین شاخص‌های محاسبه شده

به‌منظور بررسی روابط بین شاخص‌های محاسبه شده و تعیین خصوصیات اکسشن‌های مورد بررسی از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (۳۳) و تجزیه همبستگی استفاده گردید. در شکل ۳ روابط شاخص‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها با شاخص‌ها نمایش داده شده است. نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در شاخص بر اساس الگوی"کدام-ژنوتیپ-برای-کدام صفت" (Which-for-what) مربوط به این آزمایش نیز در شکل ۴ آمده است. مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در مجموع ۹۸/۶۶ درصد از تنوع داده‌های استاندارد شده را توجیه کردند. این روش قادر به گروه‌بندی شاخص‌ها و شناسایی توده‌های بومی برتر به‌طور همزمان می‌باشد (۱۷).

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد دانه توده‌های بومی گندم دوروم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی
Table 1. Analysis of variance for grain yield of durum wheat landraces

عملکرد دانه (تجزیه مرکب) Grain Yield (Combined)	عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی Grain Yield (Irrigated)	عملکرد در شرایط دیم Grain Yield (Rainfed)	Sources of variation	منابع تغییرات
82860.3**	317734.5**	144303.2**	Genetic variance	واریانس ژنتیکی
651562.6**	-	-	Environment variance	واریانس محیطی
147356.7**	-	-	Gen. × Env. variance	واریانس ژنوتیپ × محیط
99632.1	119978.7	79292.4	Residual variance	واریانس باقیمانده
594.8	645.7	500.6	LSD 5%	حداقل تفاوت معنی‌دار ۵٪
12.3	11.0	14.1	Coefficent of variation%	ضریب تغییرات٪

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

** Significant at probability level of 1%.

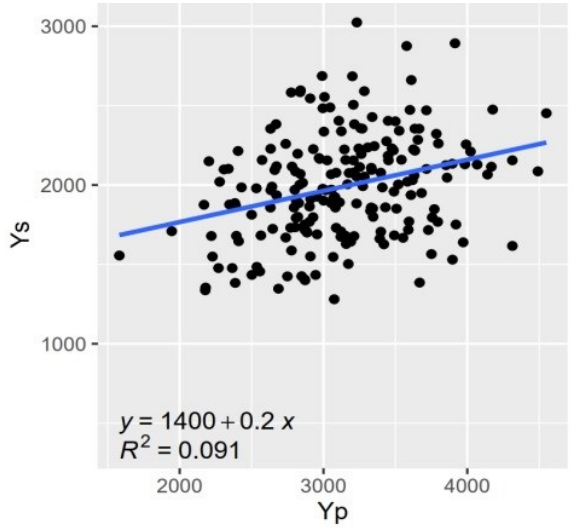
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

جدول ۲- مقادیر عددی میانگین، حداقل، حداکثر و دامنه اعداد برای عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی در توده‌های بومی گندم دوروم

Table 2. Mean and range of grain yield and calculated drought resistance indices in durum wheat landraces

دامنه Range	حداکثر Maximun	حداقل Minimum	میانگین Mean	عملکرد/شاخص Yield/Index
1743.7	3024.1	1280.5	1989.6	Y_S
2969.4	4550.0	1580.6	3134.7	Y_P
2673.3	2697.3	25.0	1145.1	TOL
1932.9	3501.0	1568.1	2562.1	MP
1797.1	3365.1	1568.1	2485.4	GMP
0.90	1.15	0.25	0.64	STI
1.67	1.71	0.04	0.97	SSI
0.61	0.26	-0.35	-0.01	SSSI
0.61	1.52	0.64	1.0	YSI
0.88	0.98	0.37	0.65	YI
5.7	3.2	-2.48	0.02	DRI
60.9	62.5	1.5	35.2	RP%

Yp: Grain yield under irrigated condition, Ys: Grain yield under rainfed condition, TOL: Tolerance indix, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index, SSI: Stress susceptibility index, SSSI: Schneider's Stress Severity Index, YSI: Yield stability index, YI: Yield index, DRI: Drought response index, RP%: Yield reduction percentage



شکل ۲- رابطه بین عملکرد دانه در شرایط دیم (Ys) و آبیاری تکمیلی (Yp) در توده‌های بومی گندم دوروم

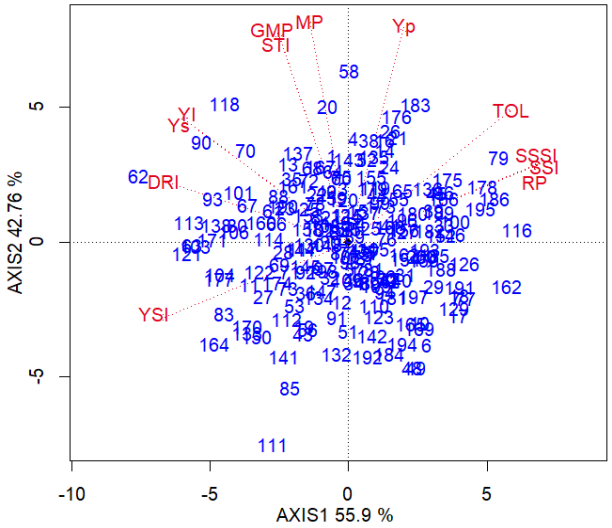
Figure 2. Relatioship between grain yield under rainfed (Ys) and irrigated (Yp) conditions in durum wheat landraces

همانطور که در شکل ۳ مشخص است بردارهای مربوط به عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی تقریباً زاویه ۹۰ درجه دارند که بیانگر عدم وجود ارتباط قابل توجه بین عملکرد در این دو شرایط است (۳۳). طبق این شکل تنها STI، MP و GMP با عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی همبستگی مثبت دارند. لذا قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های واجد عملکرد بالا در هر دو شرایط (گروه A) هستند. این نتایج با یافته‌های گل‌آبادی و همکاران (۱۱)، سی‌وسه مرده و همکاران (۳۰)، گراوندی و همکاران (۹) و محمدی (۱۵) هماهنگی داشت. همانطور که از فضای بای‌پلات مشخص است شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی تقریباً در چهار گروه قرار گرفتند. در گروه اول DRI، YSI، YI و Ys قرار گرفتند. شاخص‌های STI و GMP در گروه دوم و شاخص MP به‌همراه Y_P در گروه سوم قرار گرفتند. در گروه چهارم نیز شاخص‌های حساسیت به تنش شامل TOL، SSI، SSSI و RP جای گرفتند (شکل ۴). در مطالعه محمدی و همکاران (۱۷) STI، GMP و MP در یک گروه و SSI، TOL و YSI در گروه دیگری قرار گرفتند. همبستگی پیرسون (شکل ۵) بین تعدادی از شاخص‌ها مثبت و معنی‌دار بود که نشان می‌دهد این شاخص‌ها، توده‌های بومی را به‌طور مشابهی رتبه‌بندی کرده‌اند. همبستگی بین شاخص‌های STI، GMPو MP در حد بالایی قرار داشت که بیانگر شباهت زیاد بین این شاخص‌ها برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها است. در مطالعه گراوندی و همکاران (۹)، محمدی (۱۵)، محمدی و همکاران (۱۷)، گل‌آبادی و همکاران (۱۱)، روستایی و همکاران (۲۶) و شیروانی و همکاران (۲۸) نیز این سه شاخص همبستگی بالایی با یکدیگر نشان دادند.

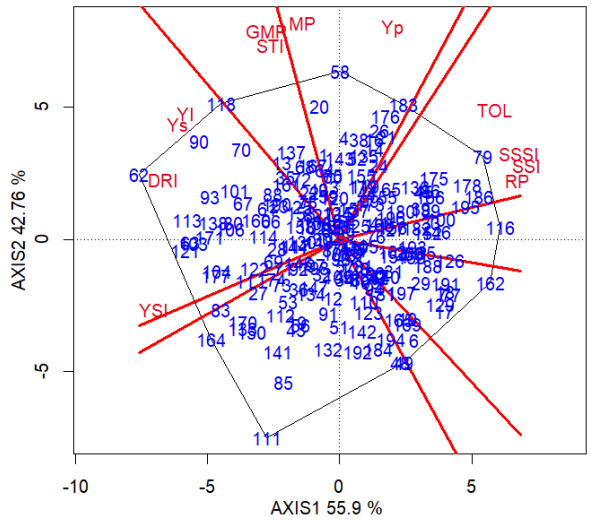
شاخص‌های TOL، SSI، SSSI و RP نیز به‌طور مشابهی همبستگی بالایی داشتند و رتبه‌بندی تقریباً یکسانی ارائه دادند. از طرفی مقادیر عددی همبستگی شاخص YI با دیگر شاخص‌ها مشابه Ys بود (شکل ۵) که نشان‌دهنده همبستگی کامل این شاخص با Ys است. همچنین همبستگی بالای YI با Ys بیانگر این مطلب است که این شاخص توده‌های بومی را فقط بر اساس عملکرد دانه در شرایط دیم رتبه‌بندی کرده است (۳۰). شاخص YSI همبستگی مثبت با Ys و همبستگی منفی با Yp داشت. این شاخص با شاخص‌های STI، GMPو MP همبستگی قابل توجهی نداشت اما با شاخص‌های TOL، SSI، SSSI و RP همبستگی منفی و بالایی داشت (شکل ۵). طبق این روابط این شاخص تنها نمونه‌هایی که از اختلاف عملکرد کمتری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برخوردار

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

بوده‌اند و معمولاً واجد عملکرد بالا در شرایط دیم و عملکرد پایین در شرایط آبیاری تکمیلی هستند را شناسایی می‌کند. شاخص DRI با عملکرد دانه در شرایط دیم همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. طبق مقادیر عددی همبستگی ارائه شده در شکل ۵ همبستگی این شاخص با Yp و روز تا گلدهی (DF) برابر با صفر بود. این مطلب نشان می‌دهد عملکرد بالای توده‌های بومی انتخابی توسط این شاخص در شرایط دیم به‌علت پتانسیل عملکرد بالا یا فرار از تنش خشکی نبوده است. به‌عبارتی این شاخص اثر فرار از خشکی (زودرسی) و پتانسیل بالای عملکرد (Yp) را بر روی عملکرد در شرایط دیم اصلاح و صرفاً بر اساس ویژگی تحمل خشکی، توده‌های بومی برتر را گزینش می‌کند (۲۰،۴).

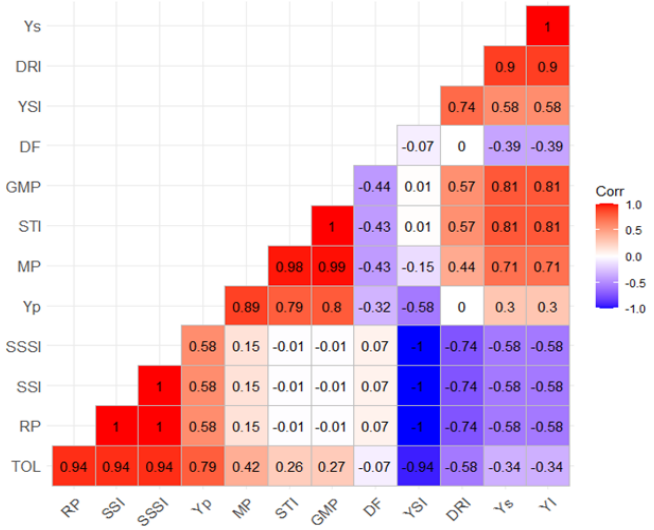


شکل ۳- بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص برای توده‌های بومی گندم دوروم و شاخص‌های تحمل خشکی
Figure 4. Genotype × index (GI) biplot of durum wheat landraces and calculated drought tolerance indices
Yp: Grain yield under irrigated condition, Ys: Grain yield under rainfed condition, TOL: Tolerance indix, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index, SSI: Stress susceptibility index, SSSI: Schneider's Stress Severity Index, YSI: Yield stability index, YI: Yield index, DRI: Drought response index, RP%: Yield reduction percentage



شکل ۴- نمایش چند ضلعی بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص برای توده‌های بومی گندم دوروم و شاخص‌های تحمل خشکی
Figure 4. The polygon view of genotype × index (GI) biplot of durum wheat landraces and calculated drought tolerance indices
Yp: Grain yield under irrigated condition, Ys: Grain yield under rainfed condition, TOL: Tolerance indix, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index, SSI: Stress susceptibility index, SSSI: Schneider's Stress Severity Index, YSI: Yield stability index, YI: Yield index, DRI: Drought response index, RP%: Yield reduction percentage

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]



شکل ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در توده‌های بومی گندم دوروم

Figure 5. Correlation coefficients between grain yield and drought tolerance indices in durum wheat landraces

Yp: Grain yield under irrigated condition, Ys: Grain yield under rainfed condition, TOL: Tolerance indix, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index, SSI: Stress susceptibility index, SSSI: Schneider's Stress Severity Index, YSI: Yield stability index, YI: Yield index, DRI: Drought response index, RP%: Yield reduction percentage

واکنش توده‌های بومی مورد بررسی به تنش خشکی

مقادیر عددی میانگین، حداقل، حداکثر و دامنه اعداد برای عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی در جدول ۲ و توده‌های بومی برتر (۳۰ نمونه) از نظر هر کدام از شاخص‌های محاسبه شده در جدول ۳ آمده است. در مورد شاخص DRI بیـدینگر و همکاران (۴) مقادیر عددی آستانه‌ای برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش را حد ۱۰ درصد بالا و پایین توزیع نرمال پیشنهاد کردند. بنابراین توده‌های بومی‌ای که مقدار عددی بالاتر از ۱/۳+ را دارا باشند به‌عنوان نمونه‌های متحمل و توده‌هایی که مقدار عددی کمتر از ۱/۳- را دارا باشند به‌عنوان نمونه‌های حساس به تنش در نظر گرفته می‌شوند. طبق شاخص DRI تنها ۲۰ نمونه مقادیر عددی بزرگتر از ۱/۳+ را دارا بودند. لذا این ۲۰ توده بومی را می‌توان به‌عنوان نمونه‌های واجد ویژگی‌های مرتبط با تحمل خشکی دانست. شاخص‌هایGMP و STI رتبه‌بندی مشابه با یکدیگر ارائه دادند و در میان ۳۰ نمونه برتر شناسایی شده توسط این شاخص‌ها تنها پنج نمونه از توده‌های بومی شناسایی شده توسط شاخص DRI وجود داشت. سی توده بومی گزینش شده توسط شاخص SSI تا حد زیادی متفاوت از شاخص‌های GMP و STI بودند و در بین آنها تنها چهار نمونه مشترک وجود داشت. اما مقایسه توده‌های بومی گزینش شده توسط شاخص‌های SSI، YSI و RI با شاخص DRI نشان داد که این شاخص‌ها قادر به شناسایی ۱۵ نمونه از ۲۰ نمونه گزینش شده توسط شاخص DRI بوده‌اند. همچنین از میان ۳۰ توده بومی برتر شناسایی شده توسط شاخص TOL نیز ۱۳ نمونه مشترک با شاخص DRI وجود داشت. به‌طور کلی طبق نتایج این تحقیق بیشتر توده‌های بومی که از نظر شاخص DRI به‌عنوان نمونه‌های متحمل شناسایی شدند توسط شاخص‌هایی مانند SSI، TOL، STI، GMP و RI نیز قابل شناسایی بودند. اما این شاخص‌ها نمونه‌های دیگری را هم به‌عنوان نمونه‌های برتر در نظر گرفتند که از نظر شاخص DRI در فهرست نمونه‌های برتر قرار نگرفتند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای افزایش کارایی انتخاب به‌طور همزمان نتایج شاخص‌های مختلف مورد تحلیل قرار گیرد. از میان نمونه‌های انتخاب شده توسط شاخص DRI نمونه‌های ۶۳ و ۹۳ از ژاپن و نمونه شماره ۱۱۸ از بلغارستان مقادیر عددی بیشتر از ۰/۸ برای شاخص STI و مقادیر عددی کمتر از ۰/۵ برای شاخص SSI برخوردار بودند. این نمونه‌ها علاوه بر داشتن ویژگی تحمل خشکی از بالاترین عملکرد دانه در شرایط دیم برخوردار بودند. همچنین درصد کاهش عملکرد (RI) این نمونه‌ها در اثر تنش پایین بود (جدول ۳).

گروه‌بندی توده‌های بومی براساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی

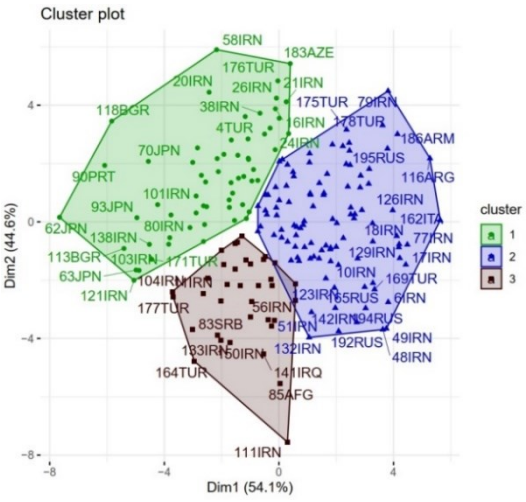
طبق نتایج حاصل از گروه‌بندی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward و روش گروه‌بندی Silhouette توده‌های بومی مورد بررسی در سه دسته قرار گرفتند (شکل ۶). به‌منظور تایید گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای و روش Silhouette، تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد. در این تجزیه مولفه‌های اول و دوم به‌ترتیب ۵۴/۱ و ۴۴/۶ (در مجموع ۹۸/۷) درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. با توجه به مستقل بودن مولفه‌ها از هم و درصد بالای تغییرات توجیه شده توسط دو مولفه اول، نمودار بای‌پلات بر اساس این دو مولفه ترسیم گردید (شکل ۷). همانند نتایج حاصل از روش گروه‌بندی Silhouette، نمونه‌ای مورد بررسی در فضای بای‌پلات در سه گروه تقریباً متمایز قرار گرفتند که با عملکرد دانه و میزان تحمل خشکی آنها مرتبط بود.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

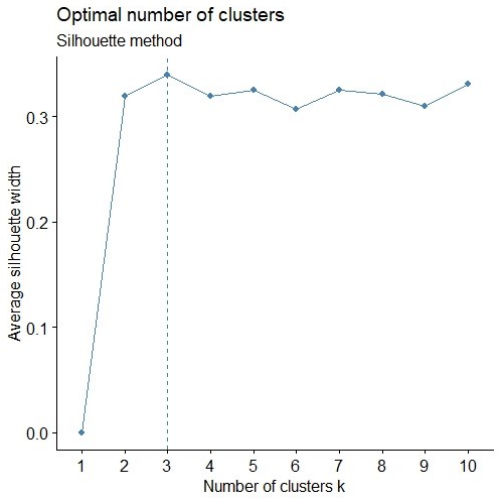
جدول ۳- کد توده‌های بومی برتر (۳۰ نمونه) از نظر عملکرد دانه و هر کدام از شاخص‌های تحمل خشکی در توده‌های بومی گندم دوروم
Table 3. Codes of durum wheat landraces (first 30 landraces) selected based on grian yield and drought resistance indices

Y_S	Y_P	TOL	MP	GMP	STI	SSI	YSI	DRI	RP%
62JPN	58IRN	111IRN	58IRN	118BGR	118BGR	111IRN	164TUR	62JPN	111IRN
118BGR	183AZE	164TUR	118BGR	58IRN	58IRN	164TUR	111IRN	90PRT	164TUR
90PRT	79IRN	83SRB	20IRN	20IRN	20IRN	62JPN	62JPN	118BGR	62JPN
113BGR	176TUR	121IRN	183AZE	90PRT	90PRT	121IRN	121IRN	70JPN	121IRN
93JPN	20IRN	62JPN	176TUR	62JPN	62JPN	83SRB	83SRB	138IRN	83SRB
70JPN	26IRN	133IRN	90PRT	70JPN	70JPN	63JPN	133IRN	113BGR	63JPN
63JPN	21IRN	85AFG	26IRN	183AZE	183AZE	103IRN	63JPN	121IRN	103IRN
101IRN	16IRN	170TUR	70JPN	176TUR	176TUR	133IRN	103IRN	63JPN	133IRN
103IRN	38IRN	63JPN	62JPN	137IRN	137IRN	113BGR	113BGR	177TUR	170TUR
121IRN	4TUR	103IRN	4TUR	4TUR	4TUR	170TUR	170TUR	103IRN	113BGR
138IRN	14IRN	150IRN	38IRN	13IRN	13IRN	104IRN	150IRN	93JPN	177TUR
171TUR	178TUR	177TUR	21IRN	38IRN	38IRN	177TUR	104IRN	101IRN	104IRN
67JPN	175TUR	104IRN	16IRN	26IRN	26IRN	150IRN	177TUR	171TUR	150IRN
80IRN	118BGR	141IRQ	137IRN	1IRN	1IRN	85AFG	85AFG	67JPN	85AFG
106IRN	186ARM	113BGR	14IRN	16IRN	16IRN	171TUR	171TUR	106IRN	171TUR
20IRN	135IRN	171TUR	1IRN	167RUS	167RUS	141IRQ	141IRQ	80IRN	141IRQ
13IRN	24IRN	11IRN	13IRN	93JPN	93JPN	138IRN	138IRN	104IRN	138IRN
137IRN	52IRN	27IRN	143IRN	143IRN	143IRN	11IRN	11IRN	61ITA	11IRN
58IRN	143IRN	112USA	135IRN	68JPN	68JPN	93JPN	93JPN	190RUS	93JPN
88AFG	86AFG	138IRN	167RUS	21IRN	21IRN	27IRN	27IRN	83SRB	27IRN
160IRN	1IRN	43IRN	68JPN	101IRN	101IRN	106IRN	106IRN		106IRN
161IRQ	136IRN	122IRN	52IRN	14IRN	14IRN	122IRN	122IRN		122IRN
35IRN	45IRN	56IRN	64JPN	35IRN	35IRN	80IRN	80IRN		80IRN
104IRN	195RUS	106IRN	79IRN	64JPN	64JPN	112USA	112USA		112USA
61ITA	166RUS	93JPN	24IRN	135IRN	135IRN	90PRT	90PRT		90PRT
23IRN	155IRN	19IRN	35IRN	161IRQ	161IRQ	43IRN	43IRN		43IRN
190RUS	137IRN	132IRN	93JPN	72AUT	72AUT	174RUS	101IRN		174RUS
68JPN	65JPN	53IRN	101IRN	52IRN	52IRN	56IRN	73USA		56IRN
167RUS	116ARG	174RUS	72AUT	88AFG	88AFG	101IRN	174RUS		101IRN
177TUR	167RUS	80IRN	161IRQ	60IRN	60IRN	73USA	56IRN		73USA

Yp: Grain yield under irrigated condition, Ys: Grain yield under rainfed condition, TOL: Tolerance indix, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index, SSI: Stress susceptibility index, SSSI: Schneider's Stress Severity Index, YSI: Yield stability index, YI: Yield index, DRI: Drought response index, RP%: Yield reduction percentage, AFG: Afghanistan, ARG: Argentina; ARM: Armenia; AUS: Australia; AUT: Austria, AZE: Azerbaijan, BGR: Bulgaria, FRN: France; GRC: Greece, IRQ: Iraq; ITA: Italy; JPN: Japan; PRT: Portugal; RUS: Russia; SRB: Serbia; TUR: Turkey; USA: United States, IRN: Iran



شکل ۷- بای‌پلات تجزیه به مولفه‌های اصلی برای عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در توده‌های بومی گندم دوروم
Figure 7. Biplot derived from the principal component analysis for grain yield and drought resistance indices in durum wheat landraces



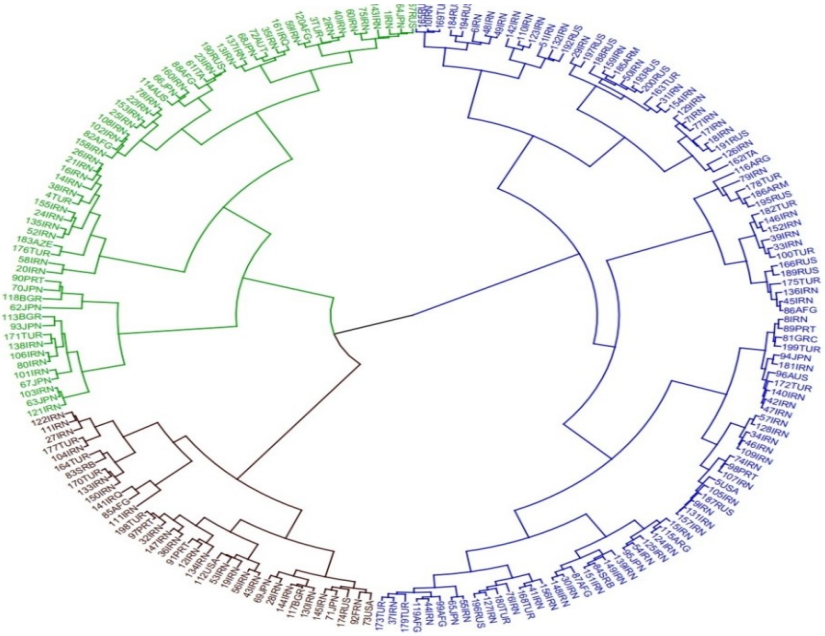
شکل ۶- تعیین تعداد گروه‌های مناسب با استفاده از روش Silhouette براساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در توده‌های بومی گندم دوروم
Figure 6. Determining the optimal number of clusters using the Silhouette method based on grain yield and drought resistance indices in durum wheat landraces

نمونه‌ها از عملکرد بالایی در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برخوردار بودند. همچنین از نظر شاخص‌های STI، MP و GMP در گروه A (۶) قرار گرفتند. از طرفی ۱۵ توده بومی از ۲۰ نمونه انتخاب شده توسط شاخص DRI نیز در این گروه

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای در شکل ۸ ارائه شده است. از ۱۹۶ توده بومی مورد مطالعه ۵۷ نمونه به‌همراه ارقام شاهد ساجی (1IRN)، ذهاب (2IRN)، Imren (3IRN) و Eminbey (4IRN) در گروه اول دسته‌بندی شدند. این

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

جای گرفتند. بنابراین اغلب توده‌های بومی متعلق به این گروه را می‌توان به‌عنوان نمونه‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی در نظر گرفت. در گروه دوم ۱۰۳ نمونه از ۱۹۶ توده بومی گندم دوروم جای گرفتند. توده‌های بومی متعلق به این گروه واجد عملکرد بالا در شرایط آبیاری تکمیلی و عملکرد پایین در شرایط دیم بودند. توده‌های بومی حساس به خشکی از نظر شاخص DRI (نمونه‌هایی با مقادیر عددی کمتر از ۱/۳-) نیز در این گروه قرار گرفتند. همچنین اغلب نمونه‌های متعلق به این گروه از مقادیر کم برای شاخص STI و مقادیر بالا برای شاخص SSI برخوردار بودند. به‌طور کلی می‌توان اعضای گروه دوم را به‌عنوان نمونه‌های حساس به خشکی در نظر گرفت. در گروه سوم نیز ۳۶ توده بومی باقی مانده قرار گرفتند. این نمونه‌ها در شرایط آبیاری تکمیلی عملکرد پایینی داشتند. از طرفی اعضای این گروه مقادیر پایین برای شاخص‌های SSI و TOL را به خود اختصاص دادند و کمترین مقادیر درصد کاهش عملکرد (RI) در اثر تنش خشکی را دارا بودند. بنابراین می‌توان اعضای این گروه را به‌عنوان توده‌های بومی با پتانسیل عملکرد پایین و حساسیت کم به خشکی در نظر گرفت. از لحاظ وضعیت پراکنش توده‌های بومی متعلق به کشورهای مختلف الگوی خاصی مشاهده نشد. به‌طوری که در میان توده‌های بومی هر منطقه معمولاً نمونه‌هایی متعلق به هر سه گروه وجود داشت. از ۱۱۳ توده بومی متعلق به ایران ۳۴، ۵۹ و ۲۰ نمونه به‌ترتیب به گروه‌های اول، دوم و سوم اختصاص یافتند. از ۱۳ توده بومی متعلق به ژاپن تعداد ۸ نمونه در گروه اول قرار گرفتند. بیشتر توده‌های بومی متعلق به روسیه و ترکیه نیز در گروه دوم جای گرفتند.



شکل ۸- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای توده‌های بومی گندم دوروم بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی. گروه‌های اول، دوم و سوم به‌ترتیب با رنگ‌های سبز، بنفش و قهوه‌ای مشخص شده‌اند.

Figure 8. Cluster analysis of durum wheat landraces based on grain yield and driught tolerance indics. Clusters 1, 2 and 3 are marked in green, purple, and brown, respectively.
AFG: Afghanistan, ARG: Argentina; ARM: Armenia; AUS: Australia; AUT: Austria, AZE: Azerbaijan, BGR: Bulgaria, FRN: France; GRC: Greece, IRQ: Iraq; ITA: Italy; JPN: Japan; PRT: Portugal; RUS: Russia; SRB: Serbia; TUR: Turkey; USA: United States, IRN: Iran

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج این پژوهش بین توده‌های بومی گندم دوروم از لحاظ عملکرد دانه و تحمل خشکی تنوع قابل ملاحظه‌ای مشاهده گردید. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل همبستگی و بای‌پلات ژنوتیپ × شاخص (GI-biplot)، شاخص‌های مورد استفاده در گروه‌های مختلف قرار گرفتند و نتایج حاصل از غربالگری توده‌های بومی توسط هر گروه تا حدی متفاوت از گروه دیگر بود. بنابراین بهتر است برای شناسایی دقیق نمونه‌های برتر نتایج شاخص‌ها به‌طور همزمان در نظر گرفته شود. در این پژوهش می‌توان توده‌های بومی با مقادیر عددی STI و GMP بالا، SSI و RI پایین و DRI بالاتر از ۱/۳+ را به‌عنوان نمونه‌های برتر در نظر گرفت. همچنین طبق نتایج تجزیه خوشه‌ای توده‌های بومی مورد بررسی در سه گروه با ویژگی‌های متفاوت قرار گرفتند. در گروه اول نمونه‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به خشکی، در گروه دوم نمونه‌های حساس به خشکی و در گروه سوم نمونه‌های با پتانسیل عملکرد پایین و حساسیت کم به خشکی قرار گرفتند. به‌طور کلی بیشتر اعضای قرار گرفته در گروه اول به‌ویژه نمونه‌های 62JPN، IRN121، JPN63، IRN103، GFR113، TUR171، IRN138، JPN93، IRN106، IRN80، PRT90، IRN101، JPN67، ITA61، BGR118، JPN70 را می‌توان به‌عنوان توده‌های بومی برتر جهت بررسی بیشتر و استفاده در برنامه‌های به نژادی پیشنهاد نمود.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

منابع

1. Alvarado, G., M. López, M. Vargas, A. Pacheco, F. Rodríguez, J. Burgueño and J. Crossa. 2016. META-R (Multi Environment Trial Analysis with R for Windows.) Version 6.0. International Maize and Wheat Improvement Center.
2. Ayed, S., A. Othmani, I. Bouhaouel and J.A. Teixeira da Silva. 2021. Multi-Environment screening of durum wheat genotypes for drought tolerance in changing climatic events. Agronomy, 11: 875.
3. Bassi, F.M. and M. Sanchez-Garcia. 2017. Adaptation and stability analysis of ICARDA durum wheat elites across 18 countries. Crop Science, 57:1-12.
4. Bidinger, F.R., V. Mahalakshami and G.D.P. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearel millet [Pennisetum americanum (L). Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. Australian Journal of Agricultural Research, 38: 49-59.
5. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
6. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.
7. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
8. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
9. Geravandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 26(2): 233-252 (In Persian).
10. Geravandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. Russian Journal of Plant Physiology, 58(1): 69-75.
11. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 5: 162-171.
12. Guttieri, M.J., J.C. Stark, K. Brien and E. Souza. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit Crop Science, 41: 327-335.
13. Hartley, H.O. 1950. The maximum F-ratio as a short cut test for homogeneity of variance. Biometrika, 37: 308-312.
14. Kassambara, A. 2017. Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning, STHDA.
15. Mohammadi, R. 2016. Efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in durum wheat. Euphytica, 211: 71-89.
16. Mohammadi, R., B. Sadeghzadeh, M.M. Poursiahbidi and M.M. Ahmadi. 2021. Integrating univariate and multivariate statistical models to investigate genotype× environment interaction in durum wheat. Annals of Applied Biology, 178(3): 450-465.
17. Mohammadi., R., M. Armion, D. Kahrizi and A. Amri. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. International Journal of Plant Production, 4(1): 1735-8043.
18. Mwadzingeni, L., H. Shimelis, D. Ernest, M.D. Mark and J.T. Toi. 2016. Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. Journal of Integrative Agriculture, 15(5): 935-943.
19. Nachit, M., M. Baum, A. Impiglia, H. Ketata. 1995. Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. CIHEAMIAMZ, 181-187.
20. Ouk, M., J. Basnayake, M. Tsubo, S. Fukai, K.S. Fischer, M. Cooper and H. Nesbitt. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. Field Crop Research, 99: 48-58.
21. Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, M. López, J. Crossa and J. Burgueño. 2016. GEA-R (Genotype x Environment Analysis whit R for Windows.) Version 4.1, International Maize and Wheat Improvement Center.
22. Rahmati, H., A. Nakhzari-Moghadam, A. Rahemi-Karizaki and Z. Evarsaji, Z. 2020. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 12(33): 174-183 (In Persian).
23. Raman, A., S. Verulkar, N. Mandal, M. Variar, V. Shukla, J. Dwivedi, B. Singh, O. Singh, P. Swain, A. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H.P. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. Rice, 5(1):31.
24. Ranieri, R. 2015. Geography of the durum wheat crop. Pastaria International, 6: 24-36.
25. Rosielle, A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
26. Roustaii, M., J. Jafarzadeh and R. Eslami. 2022. Evaluation of Drought Tolerance in Rainfed Winter Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. Seed and Plant Journal, 37(4): 425-451 (In Persian).
27. Sangi S.E., A. Najafi, K. Chghamieza and R. Mohammadi. 2022. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 14(4): 911-901 (In Persian).

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]

28. Shirvani, F., M. Daneshvar, R. Mohammadi and A. Ismaili. 2021. Evaluation of agro physiological characteristics and drought tolerance in some of durum wheat breeding genotypes. Journal of Crop Breeding, 12(36): 117-135 (In Persian).
29. Singh, B. W., K.V. Rao and H.C. Sharma. 2011. Comparison of selection indices to identify sorghum genotypes resistant to the spotted stemborer Chilo partellus (Lepidoptera: Noctuidae). International Journal of Tropical Insect Science, 31(1-2): 38-51.
30. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2016. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research, 98(2-3): 222-229.
31. Skovmand, B., M.P. Reynolds and I.H. Delacy. 2001. Mining wheat germplasm collections for yield enhancing traits. Euphytica, 119: 25-32.
32. Wassmann, R., S.V.K. Jagadish, K. Sumfleth, H. Pathak, G. Howell, A. Ismail, R. Serraj, E. Redona, R.K. Singh and S. Heuer. 2009. Regional vulnerability of climate change: impacts on Asian rice production and scope for adaptation. Advances in Agronomy, 102: 91-133.
33. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-20.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.166]