Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 229-240

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/plant.2025.144670.1176

Assessment of phenotypic variation in durum wheat breeding lines based on agronomic and grain morphological traits under rainfed condition

Sanaz Fatahi[1], Kianoosh Cheghamirza[*1,2], Reza Mohammadi[3], Saeid Abbasi[4] Leila Zarei [1,2]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran
4. Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

[*]Corresponding Author Email: cheghamirza@razi.ac.ir

Received: 08-10-2025 **revised:** 12-11-2025 **Accepted**: 22-11-2025

Abstract

Introduction: Durum wheat is the main cereal for pasta and semolina production. Knowledge of genetic diversity and morphological yield-related traits supports selection of superior lines. Grain yield, thousand-grain weight, and grain appearance are key traits. Therefore, this study evaluated the phenotypic diversity of durum wheat breeding lines based on yield and grain appearance traits under rainfed conditions.

Material and Methods: In this study, 171 durum wheat genotypes, including 69 breeding lines received from the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and 100 lines received from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), along with two durum wheat cultivars, Saji and Zahab, as checks, were evaluated in an observational trial under rainfed conditions for grain yield, thousand kernel weight, and grain morphological characteristics during two growing seasons (2017–2018 and 2018–2019) at the research farm of the Dryland Agricultural Research Institute, Sararood, Kermanshah, Iran. Each line was sown in two 2.5-m-long rows, with a row spacing of 25 cm and a planting density of 400 seeds m^{-2} under rainfed conditions. The distribution of rainfall and mean monthly temperature were recorded during the two growing seasons. Grain morphological characteristics were assessed using Smart Grain software based on image analysis.

Results: Based on the results, considerable diversity in terms of agronomic traits and grain morphological characteristics was observed among the evaluated lines. The two growing seasons differed considerably in terms of the amount and distribution of monthly rainfall, which resulted in differences in growing conditions and grain yield potential of the lines under rainfed conditions. The first growing season had a lower mean grain yield and higher thousand kernel weight than the second growing season. Grain yield exhibited a higher coefficient of variation than the other traits in both growing seasons. The results of the correlation analysis showed that, in both years of the experiment, a positive and significant correlation was observed between grain yield and grain width. The results of cluster analysis grouped the genotypes into 13 and 14 groups in the first and second years, respectively. These results indicated a relatively similar grouping of the lines in both years of the experiment. The results of factor analysis showed that, in both growing seasons, traits related to grain length, grain area, and grain yield explained a considerable proportion of the variation among the studied durum wheat lines. Considerable diversity based on grain yield, thousand kernel weight, and grain morphological traits related to grain shape was observed among the evaluated lines, which may be considered in durum wheat breeding programs.

Conclusion: Overall, the results of this study confirmed the presence of useful phenotypic diversity among the durum wheat breeding lines. The simultaneous use of grain yield, thousand kernel weight, and grain morphological characteristics effectively revealed the differences among the lines and identified distinct phenotypic groups. The obtained results can be used to identify genotypes with high yield and desirable grain characteristics within the durum wheat germplasm.

Keywords: Cluster analysis, Grain yield, Grain circularity, Thousand-kernel weight

Citation: Fatahi, S., Cheghamirza, K., Mohammadi, R., Abbasi, S., & Zarei. L. (2026). Assessment of phenotypic variation in durum wheat breeding lines based on agronomic and grain morphological traits under rainfed condition .*Plant Production and Genetics*, *7*(2), 229-240. https://doi.org/10.22034/plant.2025.143806.1162

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/plant.2025.144670.1176

ارزیابی تنوع فنوتیپی لاین‌های اصلاحی گندم دوروم براساس صفات زراعی و ظاهری دانه در شرایط دیم

ساناز فتاحی [۱]، کیانوش چقامیرزا [*۱،۲]، رضا محمدی [۳]، سعید عباسی [۴]، لیلا زارعی [۱،۲]

۱.گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲. مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، واحد سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۴. گروه گیاه پزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: cheghamirza@razi.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

چکیده

مقدمه: گندم دوروم مهم‌ترین غله برای تولید ماکارونی و سمولینا است. آگاهی از تنوع ژنتیکی و صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد، به گزینش لاین‌های برتر کمک می‌کند. عملکرد دانه، وزن هزار دانه و ویژگی‌های ظاهری دانه از صفات کلیدی در این زمینه‌اند. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی تنوع فنوتیپی لاین‌های اصلاحی گندم دوروم بر پایه صفات عملکردی و ظاهری دانه در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ۱۷۱ ژنوتیپ گندم دوروم شامل ۶۹ لاین اصلاحی دریافتی از مرکز بین‌المللی ایکاردا (ICARDA) و ۱۰۰ لاین دریافتی از مرکز بین‌المللی سیمیت (CIMMYT) به همراه دو رقم گندم دوروم ساجی و ذهاب به‌عنوان شاهد به‌صورت آزمایش مشاهده‌ای تحت شرایط دیم از نظر صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و خصوصیات ظاهری دانه طی دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود در کرمانشاه ارزیابی شدند. هر لاین در دو خط ۲/۵ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع در شرایط دیم کشت گردید. پراکنش بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه در طی دو سال زراعی ثبت شد. به‌منظور بررسی صفات ظاهری دانه از نرم‌افزارSmart Grain به‌صورت تصویری استفاده شد.

نتایج: براساس نتایج حاصل، تنوع قابل توجهی از لحاظ صفات زراعی و ظاهری دانه در لاین‌های مورد بررسی مشاهده گردید. دو سال زراعی مورد بررسی از نظر میزان و پراکنش بارندگی ماهانه، به‌طور قابل توجهی متفاوت بودند که منجر به تفاوت در شرایط رشد و پتانسیل عملکرد دانه‌ی لاین‌ها در شرایط دیم شد. سال زراعی اول دارای میانگین عملکرد دانه کمتر و وزن هزار دانه بیشتری نسبت به سال زراعی دوم بود. صفت عملکرد دانه ضریب تغییرات بالاتری نسبت به سایر صفات در هر دوسال زراعی داشت. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که در هر دو سال انجام آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و عرض دانه مشاهده شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به ترتیب برای سال اول و دوم در ۱۳ و ۱۴ گروه قرار داد. این نتایج حکایت از گروه‌بندی تقریبا مشابه لاین‌ها در هر دو سال آزمایش داشت. نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها نشان داد که در هر دو سال زراعی مورد بررسی صفات مرتبط با طول دانه، سطح و عملکرد دانه درصد قابل توجهی از تغییرات در میان لاین‌های گندم دوروم مورد مطالعه را توجیه نمودند. تنوع قابل توجهی براساس داده‌های عملکرد دانه، وزن هزار دانه و صفات ظاهری مرتبط با شکل دانه در لاین‌های مورد بررسی مشاهده گردید که می‌تواند در برنامه اصلاحی گندم دوروم مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی نتایج این پژوهش وجود تنوع فنوتیپی قابل استفاده در میان لاین‌های اصلاحی گندم دوروم را تأیید کرد. استفاده هم‌زمان از صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و ویژگی‌های ظاهری دانه توانست تفاوت‌های موجود در بین لاین‌ها را به خوبی آشکار کند و گروه‌های فنوتیپی متمایزی را شناسایی کند. از نتایج حاصل می‌توان در جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و خصوصیات مناسب دانه در ژرم پلاسم گندم دوروم استفاده کرد.

کلید واژگان: تجزیه خوشه‌ای، عملکرد دانه، کرویت دانه، وزن هزار دانه

منبع: فتاحی، س.، چقامیرزا، ک.، محمدی، ر.، عباسی، س.، و زارعی، ل. (۱۴۰۵). ارزیابی تنوع فنوتیپی در لاین‌های اصلاحی گندم دوروم براساس صفات زراعی و ظاهری دانه در شرایط دیم، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۷ (۲)، ۲۴۰-۲۲۹. https://doi.org/10.22034/plant.2025.143806.1162

CC BY

مقدمه

گندم دوروم با نام علمی (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) که گندم ماکارونی نیز نامیده می‌شود، یک گونه تتراپلوئید AABB (2n=4x=28) است که طی فرآیندهای متوالی گزینش از گندم‌های امر (Emmer) توسعه و تکامل یافته است (Hu *et al*., 2015). غرب ایران به‌عنوان مبدأ و منشأ گندم تتراپلوئید، خویشاوندان وحشی و ارقام بومی آن معرفی شده و به‌عنوان خاستگاه و مرکز تنوع اولیه گندم دوروم، دارای تنوع ژنتیکی بسیار بالایی به‌منظور اصلاح گندم دوروم و تولید ارقام پر محصول و سازگار است (Fayaz *et al*., 2018).

گندم دوروم عمدتاً در حوضه مدیترانه کشت می‌شود و به‌دلیل نقش مؤثر در تغذیه انسان و مصرف گسترده در دنیا به‌عنوان ماکارونی، یکی از ضروری‌ترین گونه‌های غلات به‌شمار می‌آید. حدود ۹۰ درصد از گندم تولیدی دنیا، مربوط به گندم نان و تقریبا ۱۰ درصد مربوط به گندم دوروم است (Ararsa *et al*., 2025). گندم دوروم با بیش از ۷۹۰ میلیون تن تولید در جهان، بزرگ‌ترین سطح زیر کشت در دنیا را به خود اختصاص داده است (FAO, 2023). گندم دوروم دومین گونه زارعی مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا با تولید سالیانه بین ۳۷ تا ۴۰ میلیون تن است (Mohammadi & Haghparast., 2022). جمعیت گندم دورومی که امروزه رشد می‌کند از لحاظ ژنتیکی، مورفولوژیک و فیزیولوژیک تفاوت بیشتری نسبت به اجداد وحشی خود و جمعیت‌های اهلی شده دارد. جمعیت‌های اهلی با داشتن یک سری صفات مانند بزرگی اندازه دانه، عدم ریزش سنبله، نداشتن پوسته سخت، تعداد پنجه کمتر، رشد عمودی بیشتر و خواب دانه کمتر، با اجداد وحشی خود متفاوت هستند (Gioia *et al*., 2015; Maccaferri *et al*., 2019).

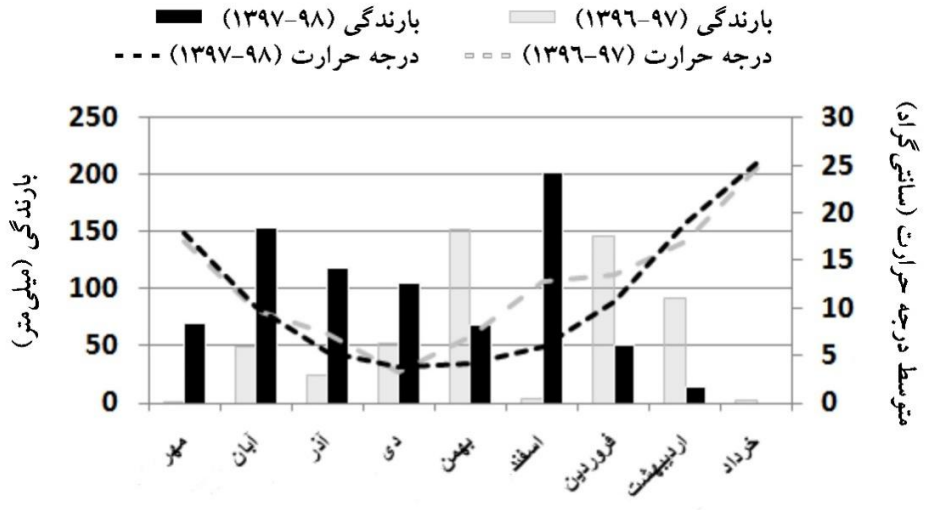
در برنامه‌های اصلاح نباتات، ارزیابی خصوصیات زراعی-مورفولوژیکی اولین گام به سمت ارزیابی و استفاده از منابع ژنتیکی هستند (Marzario *et al*., 2023). بنابراین تنوع در صفات مورفولوژیکی و مرتبط با عملکرد دانه، صفات کیفی (اندازه دانه و صفات مرتبط به شکل دانه مانند طول و عرض، ضخامت، گردی دانه که روی وزن هزار دانه و و کیفیت آرد سمولینا اثرگذار هستند)، سازگاری اگرواکولوژیکی، مقاومت به تنش‌های غیر زیستی و مقاومت به آفات، مهم‌ترین پارامترها در برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم هستند (Troccoli & Di Fonzo, 1999; Gegas *et al*., 2010; Desiderio *et al*., 2019; Fayaz *et al*., 2019). ارزیابی‌های اخیر بر روی ارقام جدید نشان داد که دانه ارقام جدید گندم دوروم، اندازه بزرگ و یکنواخت دارند این درحالی است که توده‌های بومی از این نظر تنوع و تفاوت بیشتری داشتند. دانه‌های بزرگ‌تر نه تنها بر عملکرد دانه تأثیرگذار هستند، بلکه می‌توانند تأثیرات مطلوبی نیز بر قوه‌ی جوانه‌زنی و رشد اولیه دانه داشته باشند. همچنین در بازار و صنعت نیز دانه‌های کروی ارزش بیشتری دارند (Liu *et al*., 2017; Desiderio *et al*., 2019).

مطالعات مختلفی در زمینه صفات مؤثر بر عملکرد و خصوصیات دانه گندم دوروم انجام گرفته است. در تحقیقی به‌منظور بررسی تنوع فنوتیپی ۱۲۳ نمونه گندم دوروم (۴۱ نمونه بومی، ۴۱ رقم قدیمی و ۴۱ رقم جدید)، از صفات مرتبط با دانه، صفات مورفولوژیک و نشانگرهای SNPs استفاده شد. ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی برای عرض دانه و محتوای پروتئین دانه پایین بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تاثیر زیاد صفات وزن هزار دانه، طول و عرض سنبله و صفات مربوط به دانه را بر گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نشان داد (Marzario *et al*., 2023). در ارزیابی ۳۰ رقم و لاین گندم دوروم بهاره و زمستانه تحت دو شرایط مدیریتی مختلف (ارگانیک و کم نهاده)، همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین صفات عرض دانه و وزن دانه مشاهده گردید (Cseplo *et al*., 2024). در پژوهشی QTLهای مرتبط با صفات ظاهری دانه را در ۱۱۸ رگه‌ی درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم حاصل از تلاقی بین توده بومی ایران_۲۴۹ و رقم زردک ارزیابی شد و نتایج نشان داد، توده‌ی بومی ایران_۲۴۹ برای اکثر QTLهای مربوط به طول و وزن دانه، دارای تأثیر مثبت است. بنابراین ارقام بومی پتانسیل قابل توجهی در جهت افزایش مخزن ژنی موجود برای صفات شکل، اندازه دانه و بهبود عملکرد گندم دارند (Desiderio *et al*., 2019). به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه و صفات مختلف دانه، هشت ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۵ محیط متفاوت ارزیابی گردید. تجزیه واریانس برای همه صفات مورد آزمایش (به جز عملکرد کل) ، تغییرات معنی‌دار بسیار بالایی بین ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (G × E) نشان داد (Al-Sayaydeh *et al*., 2023). شکل و اندازه دانه گندم دوروم از پارامترهای سودآور این محصول هستند،

زیرا از عوامل تعیین کننده عملکرد و کیفیت دانه محسوب می‌شوند. شناسایی ویژگی‌های مورفولوژیک مهم، امکان اصلاح ارقام گندم دوروم در برنامه‌های اصلاحی را فراهم می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش برآورد تنوع آگرو-مورفولوژیکی لاین‌های اصلاحی گندم دوروم با استفاده از صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و صفات ظاهری مرتبط با شکل دانه بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۷۱ ژنوتیپ گندم دوروم شامل ۶۹ لاین اصلاحی دریافتی از مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی مناطق خشک (ایکاردا) و ۱۰۰ لاین دریافتی از مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم (سیمیت) به‌همراه دو رقم گندم دوروم ساجی و ذهاب به‌عنوان شاهد به‌صورت آزمایش مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول تکمیلی ۱). آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی متوالی (۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۷-۹۸) در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود در کرمانشاه انجام گرفت. این ایستگاه دارای اقلیم معتدل سرد، طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا، خاک رسی_لومی و دارای میانگین بارندگی بلند مدت ۴۴۰ میلی‌متر می‌باشد. برای کشت از زمینی که سال قبل آیش بود، استفاده گردید. هم‌زمان با کشت، کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک محاسبه و مصرف گردید. منبع کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس به‌ترتیب شامل اوره (۷۵ کیلوگرم در هکتار)، فسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۵ کیلوگرم در هکتار) بود. هر لاین در دو خط ۲/۵ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع در شرایط دیم کشت گردید. شکل ۱ پراکنش بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) را نشان می‌دهد. مجموع بارندگی در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) به‌ترتیب برابر با ۵۲۱/۳ و ۸۷۲/۵ میلی‌متر بود.



شکل ۱- پراکنش بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه مزرعه تحقیقاتی در طی دو سال زراعی

در طول اجرای آزمایش در دو سال زراعی، صفات عملکرد دانه[1] (کیلوگرم در هکتار) و وزن هزار دانه[2] (گرم) اندازه‌گیری شدند. به‌منظور بررسی صفات ظاهری دانه در دو سال زراعی، از هر لاین ۱۰۰ عدد دانه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میانگین داده‌های به دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار Smart grain به‌صورت تصویری مورد ارزیابی قرار گرفت. صفات مورد بررسی شامل اندازه سطح دانه[3] (میلی‌متر)، محیط دانه[4] (میلی‌متر)، طول دانه[5](میلی‌متر)، عرض دانه[6](میلی‌متر)، نسبت طول به عرض دانه[7] گردی

[1] Grain yield (YLD)
[2] Thousand -kernel weight (TKW)
[3] Area size (AS)
[4] Perimeter length (PL)
[5] Length (L)
[6] Width (W)
[7] Length-to-width ratio (LWR)

دانه[1]، فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه[2] (میلی‌متر) بودند.

آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای تمامی صفات محاسبه شدند. ترسیم نمودار حرارتی ضریب همبستگی فنوتیپی صفات مورد بررسی به‌روش پیرسون و تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با استفاده از نرم‌افزار Past، تعیین تعداد مناسب گروه‌ها در تجزیه خوشه‌ای از طریق محاسبه شاخص F کاذب (Calinski & Harabasz, 1974) توسط نرم‌افزار Systat و تجزیه به عامل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی صفات اندازه‌گیری شده

مقادیر میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای نه صفت مورد بررسی در دو سال زراعی در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل، تنوع فنوتیپی قابل توجهی برای بسیاری از صفات مورد بررسی در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه وجود داشت. در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ صفات اندازه سطح دانه، فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل و عملکرد دانه، ضریب تغییرات بالاتری نسبت به سایر صفات داشتند بالاترین ضریب تغییرات در سال اول به صفت عملکرد دانه (۲۵/۸۰ درصد) تعلق داشت. در سال دوم نیز این صفت با ۲۸/۶۴ درصد بیشترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص داد. در سال زراعی دوم (۹۸-۱۳۹۷)، بیشترین ضریب تغییرات مربوط به صفات اندازه سطح دانه، نسبت طول به عرض دانه، فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل و عملکرد دانه بودند که این می‌تواند نشان‌دهنده تنوع بالای این صفات باشد.

صفت محیط دانه، کمترین میزان ضریب تغییرات را در هر دو سال آزمایش نشان داد که نشان‌دهنده تنوع پایین این صفت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نسبت به سایر صفات مورد بررسی می‌باشد. عملکرد دانه به‌عنوان صفتی اقتصادی از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی این صفت نشان داد که لاین‌های مورد بررسی دارای میانگین عملکرد دانه ۲۹۳۹/۰۹ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۳۱۹۵/۵۳ کیلوگرم در هکتار در سال دوم بودند. حداقل و حداکثر عملکرد دانه، به‌ترتیب ۱۳۲۰ و ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۴۴۰ و ۵۷۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال دوم بودند. نتایج نشان داد که در سال دوم، لاین‌ها میانگین عملکرد دانه بیشتری نسبت به سال اول داشتند. میانگین وزن هزار دانه به‌ترتیب ۴۴/۰۲ گرم (سال اول) و ۳۵/۰۹ (سال دوم) بود. حداقل و حداکثر وزن هزار دانه نیز به‌ترتیب در سال اول ۳۶ و ۵۲/۱۵ گرم و در سال دوم ۲۶/۴۰ و ۴۲/۸۰ گرم بود. در سال دوم، میانگین وزن هزار دانه کمتری نسبت به سال اول مشاهده شد. دو سال زراعی مورد بررسی از نظر میزان و توزیع بارندگی ماهانه، به‌طور قابل توجهی متفاوت بودند، که منجر به تفاوت در شرایط رشد و پتانسیل عملکرد لاین‌ها در شرایط دیم شد. در هر دو سال زراعی بیشترین میزان بارندگی در زمستان رخ داد. بنابراین در مراحل مهمی مانند پرشدن دانه، بارندگی کافی دریافت نشد. هر چند میزان بارندگی بیشتر در سال زراعی دوم (۸۷۲/۵ میلی‌متر) می‌تواند دلیل افزایش عملکرد دانه نسبت به سال زراعی اول (۵۲۱/۳ میلی‌متر) باشد. وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملکرد، اثر آن مطلق نیست و در شرایطی که تعداد دانه بالا باشد، در صورت محدودیت منابع فتوسنتزی مانند بارندگی، وزن کاهش خواهد یافت اما عملکرد می‌تواند از طریق افزایش تعداد دانه جبران شود. به همین دلیل در سال زراعی دوم عملکرد بیشتر و وزن هزار دانه کمتری نسبت به سال اول بدست آمد. در بررسی تنوع فنوتیپی گندم دوروم، وزن هزار دانه یکی از صفات کلیدی در توصیف تنوع عملکرد گزارش گردیده و ضریب تغییرات بالاتری برای این صفت نسبت به صفات ظاهری به‌دست آمده است (Mohammadi & Amri, 2013). در پژوهشی ۱۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم را با استفاده از ۳۳ صفت مربوط به دانه و گیاه گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که صفات ظاهری دانه مانند عرض دانه و محتوای پروتئین دانه دارای ضریب تغییرات پایین بودند (Marzario *et al.*, 2023). نتایج حاصل از بررسی ۱۷۲ ژنوتیپ گندم دوروم با استفاده از صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد دانه دارای بالاترین میزان ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی بودند (Salehi *et al.*, 2024). مرور منابع و نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که صفات ظاهری دانه در گندم دوروم عمدتاً تغییرپذیری محدودی دارند، اما صفات

1. Circularity (CS)
2. Distance between intersection of length and width (IS) and center of gravity (CG) (DS)

کمی به‌ویژه عملکرد دانه و وزن هزار دانه تنوع بیشتری داشته و بنابراین در اصلاح و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌تواند اهمیت ویژه‌ای داشته باشند. به‌طور کلی در سال زراعی اول، ژنوتیپ‌های گندم سیمیت دارای میانگین بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های گندم ایکاردا از نظر صفات اندازه سطح دانه، محیط دانه، طول دانه، عرض دانه، گردی دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه بودند. ژنوتیپ‌های گندم ایکاردا از نظر صفات نسبت طول به عرض دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه دارای میانگین بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های گندم سیمیت بودند. در سال زراعی دوم، ژنوتیپ‌های گندم سیمیت از نظر صفات اندازه سطح دانه، محیط دانه، طول دانه، عرض دانه، گردی دانه، فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه و عملکرد دانه دارای میانگین بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های گندم ایکاردا بودند. ژنوتیپ‌های گندم ایکاردا از نظر صفات نسبت طول به عرض دانه و وزن هزار دانه میانگین بالاتری داشتند.

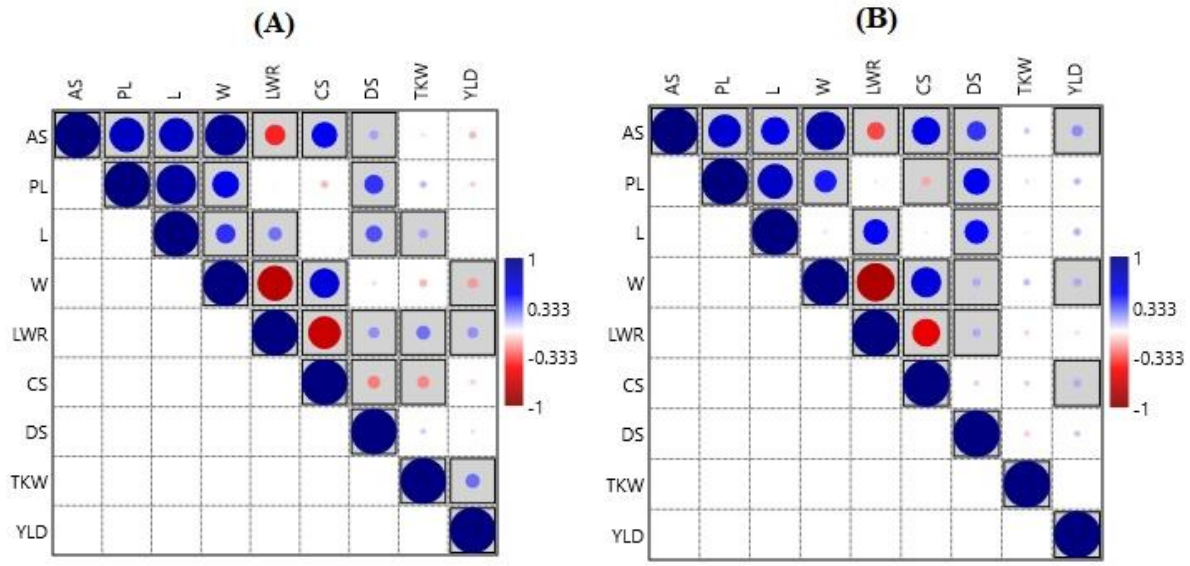
جدول ۱- آماره‌های توصیفی صفات مورد مطالعه در دانه لاین‌های گندم دوروم در طی دو سال زراعی متوالی

صفت	سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶					سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷				
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات ٪	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات ٪
اندازه سطح دانه (mm^2)	۴۴/۰۲	۹۶/۳۵	۶۷/۰۷	۹/۱۲	۱۳/۶۰	۴۳/۹۹	۸۰/۱۸	۴۳/۹۹	۷/۹۰	۱۲/۷۵
محیط دانه (mm)	۳۲/۵۰	۴۶/۹۰	۳۷/۶۲	۲/۱۶	۵/۷۵	۳۰/۸۴	۴۲/۵۶	۳۰/۸۴	۱/۸۷	۵/۳۱
طول دانه (mm)	۱۱/۳۷	۱۷/۱۵	۱۳/۶۷	۰/۸۲	۶/۰۱	۱۰/۶۸	۱۵/۱۵	۱۰/۶۸	۰/۸۰	۶/۳۸
عرض دانه (mm)	۵/۵۳	۸/۳۴	۶/۷۶	۰/۶۰	۸/۸۱	۴/۹۶	۸/۴۶	۴/۹۶	۰/۶۴	۹/۴۸
نسبت طول به عرض دانه	۱/۶۱	۲/۵۰	۲/۰۵	۰/۱۷	۸/۲۴	۱/۴۴	۲/۵۲	۱/۴۴	۰/۲۱	۱۰/۹۸
گردی دانه	۰/۴۴	۰/۷۱	۰/۶۰	۰/۰۵	۸/۴۲	۰/۴۷	۰/۷۴	۰/۴۷	۰/۰۶	۸/۹۱
فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه (mm)	۰/۷۲	۱/۴۲	۰/۹۹	۰/۱۴	۱۳/۹۵	۰/۷۰	۱/۳۴	۰/۷۰	۰/۱۲	۱۳/۱۶
عملکرد دانه ($kg \cdot ha^{-1}$)	۱۳۲۰	۵۰۰۰	۲۹۳۹/۰۹	۷۵۸/۱۹	۲۵/۸۰	۴۴۰	۵۷۲۰	۳۱۹۵/۵۳	۹۱۵/۳۵	۲۸/۶۴
وزن هزار دانه (g)	۳۶	۵۲/۱۵	۴۴/۰۲	۳/۶۱	۸/۲۰	۲۶/۴۰	۴۲/۸۰	۳۵/۰۹	۳/۴۴	۹/۸۰

تجزیه همسبتگی

در شکل ۲ نمودارهای حرارتی همبستگی پیرسون بین صفات مورد بررسی برای دو سال زراعی ارئه شده است. در سال اول (۹۷-۱۳۹۶)، صفت وزن هزار دانه با صفات طول دانه، عملکرد دانه و نسبت طول به عرض دانه همبستگی مثبت و با صفت گردی دانه همبستگی منفی نشان داد. صفت عملکرد دانه همبستگی مثبت با صفت نسبت طول به عرض دانه و وزن هزار دانه نشان داد. همبستگی منفی بین صفت عملکرد دانه و عرض دانه مشاهده گردید. در پژوهشی پایداری عملکرد دانه و وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط نیمه خشک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در برخی ژنوتیپ‌ها همبستگی این دو صفت پایدارتر از صفات دیگر است (Benkadja *et al.*, 2022). در مطالعه دیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات عرض دانه و وزن هزار دانه در گندم دوروم گزارش شده است. همچنین یافتن این

همبستگی مثبت بین عرض دانه و وزن هزار دانه در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که عرض دانه می‌تواند به‌صورت غیر مستقیم با عملکرد دانه نیز مرتبط باشد (Cseplo *et al.*, 2024). همبستگی بسیار قوی بین وزن هزار دانه و عرض دانه در گندم نان نیز گزارش شده است (Beral *et al.*, 2020). در سال دوم آزمایش (۹۸-۱۳۹۷) صفت وزن هزار دانه با صفات اندازه سطح دانه، محیط دانه، طول دانه، عرض دانه و گردی دانه رابطه مثبت ضعیفی داشت. همبستگی منفی ضعیفی هم بین صفت وزن هزار دانه با صفات نسبت طول به عرض و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه مشاهده گردید. صفت عملکرد دانه با صفات اندازه سطح، عرض دانه و گردی دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. در هر دو سال انجام آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و عرض دانه مشاهده شد. در پژوهشی که بروی جمعیت لاین‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم در سه فصل زراعی در جنوب ایتالیا انجام شد، عملکرد دانه تحت تأثیر عرض دانه، طول دانه و اندازه مساحت دانه قرار داشت. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که شرایط ژنوتیپی و محیطی در تعیین ارتباط عملکرد و صفات ظاهری دانه نقش مهمی دارند (Mangini *et al*, 2021). الگوی همبستگی صفات ظاهری دانه در هر دو سال تا حدودی شبیه به یکدیگر بود. بیشترین میزان همبستگی مثبت در هر دو سال به صفت اندازه سطح دانه با صفات محیط دانه، طول دانه، عرض دانه، گردی دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض دانه و بیشترین میزان همبستگی منفی و قوی در هر دو سال به صفات عرض دانه و نسبت طول به عرض دانه و بین صفات نسبت طول به عرض دانه با صفت گردی دانه تعلق داشت. در پژوهشی نتایج ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط آبیاری کامل نشان داد که در شرایط تنش آبی همبستگی عملکرد دانه با تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود (Taheri *et al.*, 2025). در تحقیقی بر روی جمعیت رگه‌های درون‌زاد نوترکیب حاصل از تلاقی توده‌ی بومی و یک رقم بومی گندم دوروم ایران، همبستگی مثبت بالایی بین صفات وزن هزار دانه با صفات عرض دانه، گردی دانه و ضریب شکل گزارش گردید. این درحالی بود که صفت وزن هزار دانه با صفت طول دانه همبستگی منفی داشت (Desiderio *et al*., 2019). در مطالعه‌ای، تعداد ۱۲۵ و ۱۱۹ رگه درون‌زاد نوترکیب از نسل F7 و F8 گندم دوروم را طی دو سال زراعی در شرایط دیم بررسی و تجزیه همبستگی نشان داد که شاخص برداشت، زیست توده، تعداد سنبله در هر بوته، تعداد پنجه در هر بوته، عملکرد کاه، وزن سنبله، تراکم سنبله و وزن دانه در هر سنبله با عملکرد دانه در دو سال ارتباط مثبت داشتند. در نتیجه، بر اساس داده‌های دو ساله، لاین‌های اینبرد نوترکیب با وزن سنبله بالاتر، وزن دانه در سنبله، تعداد پنجه در بوته، زیست توده، سرعت پر شدن دانه، ارتفاع بوته بالاتر با طول پدانکل بلندتر و سنبله‌های بلندتر با طول ریشک بلندتر ممکن است در شرایط دیم عملکرد بالاتری داشته باشند. این صفات، صفات امیدوارکننده‌ای برای انتخاب غیرمستقیم عملکرد دانه معرفی شدند (Aghaie *et al.*, 2023). در مطالعه عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک در ۱۵۴ رگه درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم، عملکرد دانه با صفت آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (Naseri *et al.*, 2024).



شکل ۲- نمودارهای دمایی همبستگی بین صفات مورد بررسی در لاین‌های اصلاحی گندم دوروم در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ (A) و ۱۳۹۷-۹۸ (B) (AS: اندزه سطح دانه، PL: محیط دانه، L: طول دانه، W: عرض دانه، LWR: نسبت طول به عرض دانه، CS: گردی دانه، DS: فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه، TKW: وزن هزار دانه، YLD: عملکرد دانه).

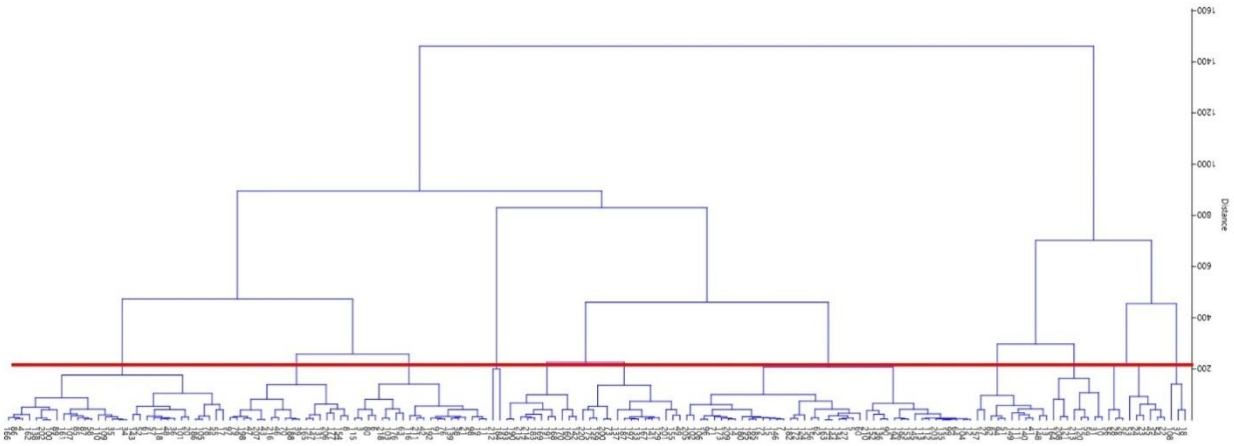
تجزیه خوشه‌ای

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۷۱ ژنوتیپ گندم دوروم براساس نه صفت اندازه‌گیری شده در دو سال زراعی متوالی در شکل ۳ و ۵ آمده است. به‌منظور جلوگیری از اثر زنجیره‌ای[1] از روش‌های متفاوتی برای گروه‌بندی لاین‌ها استفاده شد، به طوری‌که تجزیه خوشه‌ای در سال اول با استفاده از ضریب فاصله اقلیدوسی به روش Average و و در سال دوم با استفاده از ضریب فاصله اقلیدوسی به روش Ward انجام شد. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تجزیه خوشه‌ای تعیین تعداد مطلوب خوشه است. این موضوع نقش مهم و اساسی در مطالعات ژنتیکی برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و تعیین گروه‌های معین جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی دارد در این مطالعه به‌منظور تعیین تعداد مطلوب خوشه‌ها و بهترین نقطه برش برای داده‌ها، از شاخص F کاذب استفاده شد (Caliński & Harabasz, 1974). در این روش خط برش در جایی قرار می‌گیرد که شاخص F بالاترین میزان خود را نسبت به سایر نقاط در دندروگرام داشته باشد. بیشترین میزان این شاخص براساس صفات مورد بررسی به‌ترتیب برای سال اول و دوم در تعداد گروه برابر با ۱۳ و ۱۴ قرار داشت (شکل‌های ۴ و ۶). میانگین صفات اندازه-گیری شده در هر گروه در دو سال زراعی محاسبه گردید (جدول ۲ و ۳). نتایج حکایت از گروه‌بندی تقریبا مشابه لاین‌ها در هر دو سال آزمایش داشت. این شباهت می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی و مکان یکسان نمونه‌ها باشد. در سال زراعی اول، گروه‌های اول و سوم با سه لاین در هر گروه (به‌ترتیب لاین‌های شماره ۱۸، ۳۷ و ۱۰۸، لاین‌های شماره‌ی ۲۶، ۲۸ و ۵۸) و گروه دهم با دو لاین شماره‌ی ۱۸۴ و ۲۱۲، کمترین تعداد نمونه‌ها در گروه‌بندی را داشتند. ارقام شاهد ساجی (ژنوتیپ شماره ۱) و ذهاب (ژنوتیپ شماره ۹۷) به‌ترتیب در دو گروه مختلف ۱۳ و ۱۲ قرار داشتند (شکل ۳). در سال زراعی دوم، کمترین تعداد نمونه‌ها در هر گروه متعلق به گروه سوم با یک نمونه (لاین شماره‌ی ۱۶۱) و گروه نهم با شش نمونه (لاین‌های شماره‌ی ۱۶۰، ۵۴، ۱۵۴، ۱۱۳، ۱۵۶ و ۱۵۹) بودند. ارقام شاهد ساجی (ژنوتیپ شماره‌ی ۱) و ذهاب (ژنوتیپ شماره‌ی ۹۷) در سال زراعی دوم به‌ترتیب به گروه‌های ۱۱ و ۱۳ راه پیدا کردند (شکل ۵).

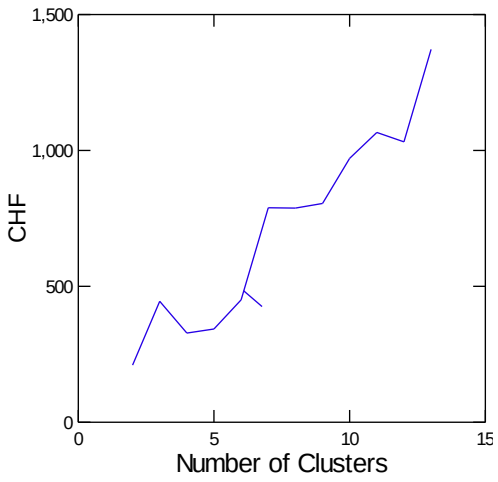
برای تعیین خصوصیات هر گروه، از نظر صفات مورد مطالعه، میانگین خوشه برای هر صفت در دو سال زراعی محاسبه و به‌ترتیب در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است. در سال

[1] Chaining effect

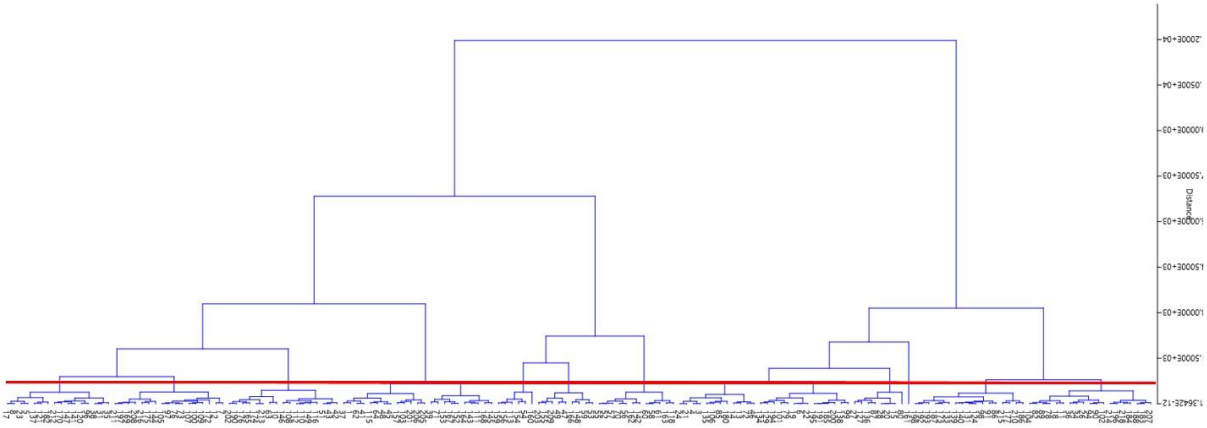
زراعی اول (جدول ۳)، خوشه اول برای صفت وزن هزار دانه ارزش بالاتری نسبت به میانگین کل دارا بود. خوشه دوم، برای صفات نسبت طول به عرض دانه، فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه و عملکرد دانه ارزش بالاتری از میانگین کل را داشت. صفات گردی دانه در خوشه سوم و طول دانه در خوشه دوازدهم دارای ارزش بالاتری از میانگین کل بودند. خوشه هشتم از نظر صفات اندازه سطح دانه، محیط دانه و عرض دانه میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل نشان داد. در سال زراعی دوم (جدول ۴)، صفات اندازه سطح دانه، محیط دانه و طول دانه در گروه دهم از ارزش بالاتری نسبت به میانگین کل برخوردار بود. گروه سوم از نظر صفات عرض دانه، گردی دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه میانگین بالاتری داشت. صفت طول به عرض دانه در گروه پنجم از ارزش بالاتری برخوردار بود. لاین‌های گروه اول از نظر صفت وزن هزار دانه و لاین‌های گروه نهم از نظر صفت عملکرد دانه میانگین بالاتری را نسبت به میانگین کل داشتند.



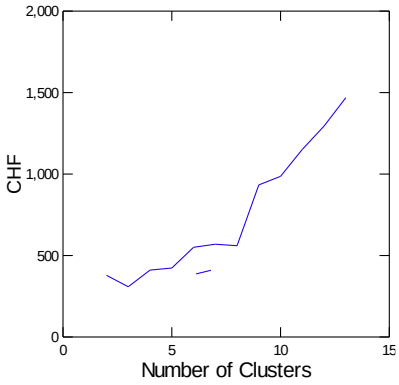
شکل ۳- دندروگرام ۱۷۱ لاین اصلاحی گندم دوروم براساس نه صفت زراعی و مورفولوژیک به روش Average (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶)



شکل ۴- مقدار شاخص F کاذب در تجزیه خوشه‌ای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶



شکل ۵- دندروگرام ۱۷۱ لاین اصلاحی گندم دوروم براساس نه صفت زراعی و مورفولوژیک مورد بررسی به روش Ward (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷)



شکل ۶- مقدار شاخص F کاذب در تجزیه خوشه‌ای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

جدول ۲- میانگین صفات در خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

خوشه	اعضای خوشه	اندازه سطح دانه (mm^2)	محیط دانه (mm)	طول دانه (mm)	عرض دانه (mm)	نسبت طول به عرض دانه (mm)	گردی دانه	فاصلع بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه (mm)	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه ($kg \cdot ha^{-1}$)
۱	۳	۶۰/۸۴۴	۳۶/۳۱۳	۱۳/۲۹۰	۶/۳۷۵	۲/۰۹۱	۰/۵۸۵	۰/۹۲۸	۴۹۰۶/۶۶۷	۴۵/۸۶۷
۲	۶	۶۴/۵۵۹	۳۷/۲۷۳	۱۳/۶۸۶	۶/۵۶۷	۲/۱۰۴	۰/۵۸۶	۱/۰۳۷	۴۵۲۴	۴۸/۴۵
۳	۳	۶۸/۴۵۹	۳۷/۲۸۸	۱۳/۷۰۴	۶/۷۶۳	۲/۰۳۵	۰/۶۱۹	۰/۹۶۷	۴۳۰۶/۶۶۷	۴۵/۸۳۳
۴	۸	۶۷/۲۸۹	۳۷/۴۱۹	۱۳/۸۳۲	۶/۶۵۷	۲/۰۹۶	۰/۶۰۴	۱/۰۰۷	۴۰۳۵	۴۳/۸۲۵
۵	۱۱	۶۶/۶۵۱	۳۷/۸۴۵	۱۳/۷۷۵	۶/۶۵۶	۲/۰۸۶	۰/۵۸۶	۱/۰۳۴	۳۷۳۸/۱۸۲	۴۵/۴۸۲
۶	۱۶	۶۶/۰۳	۳۷/۱۰۸	۱۳/۶۱۹	۶/۶۶۸	۲/۰۶	۰/۶۰۳	۰/۹۸۹	۲۵۵۴	۴۵/۰۷۸
۷	۲۶	۶۸/۸۳۹	۳۸/۰۶۴	۱۳/۶۷۸	۶/۹۲۴	۲/۰۰۱	۰/۵۹۷	۰/۹۹۳	۲۳۴۷/۶۹۲	۴۲/۶۵۸
۸	۱۵	۷۰/۴۹۵	۳۸/۲۹۸	۱۳/۶۸۱	۷/۰۷۴	۱/۹۵۱	۰/۶۰۹	۱/۰۳	۲۰۶۱/۳۳	۴۳/۱۵۳
۹	۱۱	۷۰/۳۴۱	۳۷/۸۶۱	۱۳/۷۴۵	۶/۹۹۱	۱/۹۸۳	۰/۶۱۶	۰/۹۶۹	۱۸۳۵/۶۳۶	۴۱/۲۹۱
۱۰	۲	۶۲/۵۱۶	۳۶/۳۲	۱۳/۲۱۷	۶/۶۵۵	۱/۹۹۷	۰/۵۹۹	۰/۸۱۹	۱۴۲۰	۴۳/۸۵
۱۱	۲۰	۶۴/۲۹	۳۷/۴۰۳	۱۳/۵۷۱	۶/۵۵۶	۲/۰۹	۰/۵۸۱	۰/۹۴۲	۲۷۸۴	۴۴/۹۷۸
۱۲	۱۸	۷۰/۱۹۱	۳۸/۱۸۲	۱۳/۹۰۹	۶/۹۵۴	۲/۰۲۳	۰/۶۰۶	۰/۹۶۹	۳۰۴۱/۷۷۸	۴۲/۲۷۲
۱۳	۳۲	۶۴/۷۲۹	۳۷/۲۰۷	۱۳/۵۷۸	۶/۶۰۸	۲/۰۸۶	۰/۵۸۹	۱/۰۱۵	۳۳۷۸/۵	۴۴/۷۲۷

جدول ۳- میانگین صفات در خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

خوشه	اعضای خوشه	اندازه سطح دانه (mm^2)	محیط دانه (mm)	طول دانه (mm)	عرض دانه (mm)	نسبت طول به عرض دانه (mm)	گردی دانه	فاصلع بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه (mm)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه ($kg \cdot ha^{-1}$)
۱	۱۹	۶۰/۸۰۷	۳۵/۴۰۵	۱۲/۶۰۸	۶/۶۶۶	۱/۹۰۹	۰/۶۱۳	۰/۸۷۱	۳۶/۵۸۴	۲۷۰۳/۱۵۸
۲	۱۷	۶۴/۳۸۶	۳۵/۳۵۸	۱۲/۴۱۵	۷/۰۹۰	۱/۷۸۰	۰/۶۴۸	۰/۹۰۷	۳۳/۰۸۸	۲۵۲۰
۳	۱	۶۷/۹۴۵	۳۵/۵۴۱	۱۲/۶۲۱	۲/۲۹۷	۱/۷۴۸	۰/۶۷۵	۱/۰۷۳	۳۴/۵۰۰	۴۴۰
۴	۸	۶۳/۶۹۱	۳۵/۵۷۳	۱۲/۴۸۳	۶/۹۶۰	۱/۸۳۰	۰/۶۳۵	۰/۹۴۹	۳۵/۲۶۳	۱۸۷۰
۵	۱۴	۵۵/۷۳۴	۳۴/۷۸۲	۱۲/۵۸۷	۶/۱۵۸	۲/۰۷۶	۰/۵۸۰	۰/۹۰۳	۳۴/۷۸۶	۲۱۰۸/۵۷۱
۶	۱۲	۵۵/۱۱۱	۳۴/۱۴۸	۱۲/۳۵۶	۶/۱۷۰	۲/۰۲۶	۰/۵۹۷	۰/۸۶۱	۳۵/۶۷۵	۲۳۲۰
۷	۱۲	۶۳/۴۷۴	۳۴/۹۵۱	۱۲/۸۲۸	۶/۶۹۵	۱/۹۴۰	۰/۶۵۱	۰/۹۳۹	۳۴/۶۶۷	۴۳۳۶/۶۶۷
۸	۹	۶۳/۰۷۲	۳۶/۰۵۰	۱۲/۷۱۵	۶/۸۴۷	۱/۹۰۸	۰/۶۱۶	۱/۰۰۵	۳۵/۹۵۶	۴۷۴۶/۶۶۷
۹	۶	۶۵/۷۱۹	۳۵/۵۶۲	۱۲/۸۶۹	۶/۹۱۶	۱/۸۷۸	۰/۶۵۳	۰/۹۱۷	۳۵/۲۰۰	۵۴۰۰
۱۰	۱۰	۶۸/۴۳۲	۳۶/۴۵۸	۱۲/۹۲۶	۷/۲۱۳	۱/۸۱۴	۰/۶۴۴	۰/۹۲۵	۳۴/۷۷۰	۴۰۳۶
۱۱	۱۳	۶۳/۸۴۸	۳۵/۷۷۵	۱۲/۸۲۴	۶/۸۱۲	۱/۹۰۴	۰/۶۲۷	۰/۹۵۱	۳۵/۶۶۹	۳۸۲۴/۶۱۵
۱۲	۱۷	۶۲/۶۸۳	۳۵/۳۲۱	۱۲/۵۸۳	۶/۸۱۳	۱/۸۶۸	۰/۶۳۳	۰/۸۸۵	۳۳/۴۱۸	۳۵۴۱/۱۷۶
۱۳	۱۷	۶۰/۹۱۶	۳۴/۷۵۷	۱۲/۳۴۶	۶/۷۲۸	۱/۸۵۸	۰/۶۳۲	۰/۹۱۸	۳۵/۸۴۱	۳۲۱۱/۵۲۹
۱۴	۱۶	۶۱/۷۹۳	۳۵/۴۰۰	۱۲/۵۷۸	۶/۷۴۰	۱/۸۸۹	۰/۶۲۰	۰/۹۶۴	۳۵/۶۸۸	۲۹۶۵

تجزیه به عامل‌ها

جدول ۴ نتایج تجزیه به عامل‌ها را با چرخش واریماکس برای سال اول و دوم نشان می‌دهد. مقادیر آماره KMO (سال اول ۰/۵۳۶ و سال دوم ۰/۴۹۸) و نیز معنی‌دار بودن آزمون بارتلت، بیانگر کافی بودن مقادیر همبستگی متغیرهای اولیه برای انجام تجزیه به عامل‌ها و کفایت مدل تجزیه به عامل‌ها بود. بعد از انجام چرخش عامل‌ها به روش واریماکس صفات به عوامل مختلف براساس مقادیر ضرایب عاملی اختصاص یافتند. ضریب عاملی بیشتر از ۰/۶، صرف نظر از علامت آن، به‌عنوان ضریب معنی‌دار در نظر گرفته شد. میزان واریانس نسبی هر عامل نشان‌دهنده سهم آن عامل در واریانس کل صفات مورد بررسی می‌باشد که به‌صورت درصد بیان شده است. در این بررسی عامل‌هایی که مقادیر ویژه آنها بیش از یک بود به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شد که مجموعا سه عامل توانستند برای سال اول و دوم به‌ترتیب ۷۹/۷۰ و ۷۵/۳۱ درصد از کل تنوع موجود میان نمونه‌های مورد مطالعه را توجیه کنند.

در سال اول، در عامل اول با توجیه ۳۳/۲۲ درصد از واریانس کل، صفات محیط دانه، طول دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه بیشترین ضرایب مثبت را داشتند و عامل طول دانه نامیده شد. عامل دوم دارای ضرایب عاملی مثبت و بالا برای صفات اندازه سطح، عرض دانه و گردی دانه بود و ۳۰ درصد از واریانس کل را توجیه نمود که عامل سطح دانه نام گرفت. عامل سوم با توجیه ۱۶/۴۸ درصد از واریانس کل شامل صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه بود و به‌عنوان عامل عملکرد دانه نامیده شد. در سال دوم ، در عامل اول صفات محیط دانه، طول دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دارای ضرایب مثبت بالا بود و این عامل ۳۲/۸۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمود و عامل طول دانه نامیده شد. عامل دوم دارای رابطه مثبت با صفات اندازه سطح، عرض دانه و گردی دانه بوده و ۲۹/۶۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمود و عامل سطح دانه نام گرفت. عامل سوم با توجیه ۱۲/۸۰ درصد از واریانس کل، دارای ضریب مثبت بالایی برای صفت عملکرد دانه بود. با توجه از نتایج به دست آمده از تجزیه به عامل‌ها در هر دو سال زراعی مورد بررسی صفات مرتبط با طول دانه، سطح و عملکرد دانه درصد قابل توجهی از تغییرات در میان لاین‌های گندم دوروم مورد مطالعه توجیه نمودند. نتایج هر دو سال تا حد زیادی به یکدیگر شباهت داشت. در پژوهشی به‌منظور ارزیابی پتانسیل عملکرد دانه گندم دوروم و بررسی برخی از صفات مرتبط با عملکرد، آزمایشی بر روی ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم با منشأ ایرانی و آذربایجانی انجام دادند.

نتایج تجزیه به عامل‌ها نشان داد که چهار عامل اول با توجیه ۷۷/۱۹ درصد از تغییرات، به‌ترتیب تعداد پنجه‌ها و پنجه‌های بارور، طول سنبله اصلی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نامیده شدند (Khayatnezhad *et al.*, 2010).

جدول ۴- نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها براساس صفات مورد بررسی در لاین‌های گندم دوروم در دو سال زراعی

صفات	سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶			سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷		
	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
اندازه سطح دانه	۰/۵۹۶	**۰/۷۹۷**	-۰/۰۶۸	۰/۵۹۱	**۰/۷۹۰**	۰/۰۴۳
محیط دانه	**۰/۹۳۰**	۰/۲۴۵	۰/۰۰۲	**۰/۹۲۰**	۰/۱۷۷	۰/۰۷۵
طول دانه	**۰/۸۵۶**	۰/۲۸۱	۰/۱۳۶	**۰/۸۶۷**	۰/۰۴۱	۰/۰۲۱
عرض دانه	۰/۳۶۵	**۰/۸۵۶**	-۰/۱۶۶	۰/۲۱۱	**۰/۸۹۰**	۰/۰۷۳
گردی دانه	-۰/۲۹۰	**۰/۸۹۲**	-۰/۰۹۴	-۰/۲۳۹	**۰/۸۹۵**	-۰/۰۱۸
فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل دانه	**۰/۶۶۰**	-۰/۲۶۹	۰/۰۰۵	**۰/۷۵۰**	۰/۰۱۱	-۰/۲۱۹
عملکرد دانه	۰/۱۹۸	-۰/۱۵۴	**۰/۷۴۶**	۰/۰۲۲	۰/۱۳۰	**۰/۹۲۲**
وزن هزار دانه	-۰/۱۰۹	-۰/۰۳۱	**۰/۸۳۸**	۰/۱۲۸	۰/۳۲۴	-۰/۳۳۵
مقادیر ویژه	۳/۳۵	۱/۹۳	۱/۱۰	۳/۲۰	۱/۸۱	۱/۰۱
درصد واریانس	۳۳/۲۲	۳۰	۱۶/۴۸	۳۲/۸۵	۲۹/۶۵	۱۲/۸۰
درصد واریانس تجمعی	۳۳/۲۲	۶۳/۲۲	۷۹/۷۰	۳۲/۸۵	۶۲/۵۰	۷۵/۳۱

نتیجه‌گیری کلی

صفات مرتبط با وزن و شکل دانه پارامترهای مهمی هستند که بر روی عملکرد و کیفیت گندم تأثیر زیادی دارند. تنوع قابل توجهی براساس صفات اندازه‌گیری شده در ژرم‌پلاسم مورد بررسی مشاهده گردید که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم مورد توجه قرار گیرد. وزن هزار دانه در سال دوم و عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش همبستگی معنی‌داری با برخی صفات ظاهری دانه نشان دادند که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تأثیر صفات بذری بر توان تولیدی گندم دوروم باشد. براساس تجزیه به عامل‌ها نیز سه صفت محیط دانه، طول دانه و فاصله بین تقاطع طول و عرض با مرکز ثقل بیشترین درصد تغییرات داده‌ها را در هر دو سال توجیه نموده و مهم‌ترین صفات تشخیص داده شدند. با استفاده از نتایج تجزیه خوشه‌ای در دو سال اجرای آزمایش مشخص شد که لاین‌های برخی از خوشه‌ها از لحاظ عملکرد و برخی دیگر از لحاظ صفات بذری می‌توانند جهت استفاده در پروژه‌های به‌نژادی گندم دوروم و نیز برنامه‌های تلاقی برای ایجاد جمعیت‌های جدید در حال تفرق مورد استفاده قرار گیرند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی و موسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

Aghaie, N., Zarei, L., & Cheghamirza, K. (2023). Agro-morphological and physiological traits affecting grain yield of durum wheat advanced generations under rainfed conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *13*(1), 79-94. https://doi.org/10.22034/jppb.2023.16409

Al-Sayaydeh, R., Shtaya, M. J., Qubbaj, T., Al-Rifaee, M. K., Alabdallah, M. A., Migdadi, O., ... & Al-Abdallat, A. M. (2023). Performance and stability analysis of selected durum wheat genotypes differing in their kernel characteristics. *Plants*, *12*(14), 2664. https://doi.org/10.3390/plants12142664

Ararsa, L., Mulugeta, B., Geleta, N., Nigusse, M., Bekele, E., & Geleta, M. (2025). Phenological, physiological, and agronomic trait variation and heritability in durum wheat (*Triticum turgidum* L. subspecies *durum* Desf) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, *21*(2), 87-101. https://doi.org/10.5897/ajar2024.16814

Benkadja, S., Maamri, K., Guendouz, A., Oulmi, A., & Frih, B. (2022). Stability analysis for grain yield and thousand kernel weight of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes growing under semi-arid conditions. *Agricultural Science & Technology*, *14*(2), 34-43. https://doi.org/10.15547/ast.2022.02.017

Beral, A., Rincent, R., Le Gouis, J., Girousse, C., & Allard, V. (2020). Wheat individual grain-size variance originates from crop development and from specific genetic determinism. *PLoS One*, *15*(3), e0230689. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230689

Caliński, T., & Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-theory and Methods*, *3*(1), 1-27. https://doi.org/10.1080/03610927408827101

Cséplő, M., Puskás, K., Vida, G., Mészáros, K., Uhrin, A., Tóth, V., ... & Bányai, J. (2025). Performance of a durum wheat diversity panel under different management systems. *Cereal Research Communications*, *53*(1), 551-562. https://doi.org/10.1007/s42976-024-00517-3

Desiderio, F., Zarei, L., Licciardello, S., Cheghamirza, K., Farshadfar, E., Virzi, N., ... & Mazzucotelli, E. (2019). Genomic regions from an Iranian landrace increase kernel size in durum wheat. *Frontiers in plant Science*, *10*, 448. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00448

Fayaz, F., Aghaee Sarbarzeh, M., Talebi, R., & Azadi, A. (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. https://doi.org/10.1007/s10528-018-9877-2

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). (2023). Data of Crop Production. From https://www.statista.com/statistics

Gegas, V. C., Nazari, A., Griffiths, S., Simmonds, J., Fish, L., Orford, S., ... & Snape, J. W. (2010). A genetic framework for grain size and shape variation in wheat. *The Plant Cell*, *22*(4), 1046-1056. https://doi.org/10.1105/tpc.110.074153

Gioia, T., Nagel, K. A., Beleggia, R., Fragasso, M., Ficco, D. B. M., Pieruschka, R., & Papa, R. (2015). Impact of domestication on the phenotypic architecture of durum wheat under contrasting nitrogen fertilization. *Journal of Experimental Botany*, *66*(18), 5519-5530. https://doi.org/10.1093/jxb/erv289

Hu, X., Ren, J., Ren, X., Huang, S., Sabiel, S. A., Luo, M., ... & Sun, D. (2015). Association of agronomic traits with SNP markers in durum wheat (*Triticum turgidum* L. *durum* (Desf.)). *PLoS One*, *10*(6), e0130854. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130854

Khayatnezhad, M., Zaefizadeh, M., Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, S., & Zabihi-e-Mahmoodabad, R. (2010). Study of morphological traits of wheat cultivars through factor analysis. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *9*(5), 460-464. http://www.idosi.org/aejaes/jaes9(5)/1.pdf

Liu, Y., Lin, Y., Gao, S., Li, Z., Ma, J., Deng, M., ... & Zheng, Y. (2017). A genome-wide association study of 23 agronomic traits in Chinese wheat landraces. *The Plant Journal*, *91*(5), 861-873. https://doi.org/10.1111/tpj.13614

Maccaferri, M., Harris, N. S., Twardziok, S. O., Pasam, R. K., Gundlach, H., Spannagl, M., & Cattivelli, L. (2019). Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets. *Nature genetics*, *51*(5), 885-895. https://doi.org/10.1038/s41588-019-0381-3

Mangini, G., Blanco, A., Nigro, D., Signorile, M. A., & Simeone, R. (2021). Candidate genes and quantitative trait loci for grain yield and seed size in durum wheat. *Plants*, *10*(2), 312. https://doi.org/10.3390/plants10020312

Marzario, S., Sica, R., Taranto, F., Fania, F., Esposito, S., De Vita, P., & Logozzo, G. (2023). Phenotypic evolution in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) based on SNPs, morphological traits, UPOV descriptors and kernel-related traits. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1206560. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1206560

Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Phenotypic diversity and relationships among a worldwide durum wheat (*Triticum turgi*dum L. var. *durum*) germplasm collection under rainfed conditions of Iran. *Crop and Pasture Science*, *64*(2), 87-99. https://doi.org/10.1071/cp12403

Mohammadi, R., & Haghparast, R. (2022). Durum wheat: production, nutritional value and economic importance. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *1*(3), 414-445. (In Persian). https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8385.1021

Naseri, R., Cheghamirza, K., Mohammadi, R., Zarei, L., & Aleagha, A. B. (2025). Evaluation of the physiological characteristics of recombinant inbred lines of durum wheat under rainfed conditions. *Biochemistry*, *3*(4), 545-562. (In Persian). https://doi.org/10.22126/cbb.2025.10334.1066

Salehi, S., Shooshtari, L., Mohammadi, R., Pour-Aboughadareh, A., & Etminan, A. (2024). Investigation of genetic diversity of durum wheat genotypes based on grain yield and yield components. *Cereal Research*, *14*(3), 251-266. (In Persian). https://doi.org/10.22124/cr.2024.28213.1832

Taheri, R., Khodarahmpour, Z., Khodarahmi, M., & Moradi, M. (2025). Multivariate analysis of new genotypes of durum wheat (*Triticum durum*) in full irrigation and terminal drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(1), 19-37. (In Persian). https://doi.org/10.22034/csrar.2025.364731.1279

Troccoli, A., & Di Fonzo, N. (1999). Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*. *Cereal chemistry*, *76*(1), 45-49. https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76