

## Multivariate analysis of new genotypes of durum wheat (*Triticum durum*) in full irrigation and terminal drought stress conditions

Rashin Taheri <sup>a</sup>, Zahra Khodarahmpour <sup>\*b</sup>, Manoochehr Khodarahmi <sup>c</sup>, Mohammad Moradi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D Student, Department of Genetics and Plant Breeding, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>b</sup> Department of Production Engineering and Plant Genetics, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

<sup>c</sup> Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

\*Corresponding Author: [zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir](mailto:zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir)

Received: 7 October 2022 Accepted: 22 February 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.364731.1279

### How to cite this article:

Taheri, R., Khodarahmpour, Z., Khodarahmi, M. and 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. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.364731.1279>

### Abstract

**Introduction:** Simplifying the selection procedure to improve yield of new genotypes of wheat is necessary. Performance is a complex trait that is influenced by many factors, and usually due to its low heritability, direct selection for performance is not very effective, so it is better to use indirect selection to improve yield. By using some statistical methods, it is possible to obtain the relative share of each of the yield components in the yield amount.

**Materials and Methods:** In this study, in order to investigate traits relationship using multivariate analysis, 11 varieties and lines of durum wheat: Shotordandan, IDSN-2, IDYN-20, IDYN-35, IDYN-19, Karkheh, Behrang, Dena, Aria, Shabarang and Hana along with three varieties of bread wheat: Sirvan, Chamran 2 and Mehregan in two conditions of full irrigation and no irrigation after the pollination stage as factorial experiment in the form of randomized complete blocks design in four replications for two crop years 2016-2017 and 2017-2018 in the research farm of Islamic Azad University Ahvaz branch were evaluated. After data collection, the assumptions of variance analysis were established, including normality of errors using the Shapiro-Wilk test, independence of errors using the Durbin-Watson test, and uniformity of variance within treatments using the Bartlett test. After the composite analysis, separate variance analysis was performed for each year under full irrigation and end-of-season drought stress conditions separately for the traits using SAS ver 9.4 and META-R ver 3.4.1 software. Correlation coefficients between traits, stepwise regression analysis, path analysis and factor analysis of relationships between traits were examined and the genotypes were grouped using cluster analysis using the WARD method using standard data and Euclidean distance using SPSS ver 20 software.

**Results and Discussion:** Based on the results of composite analysis, the interaction effect of genotype and year was significant only for spike length trait. Results of the Pearson correlation coefficients between the studied traits under full irrigation conditions showed that economic yield had a positive



and significant correlation with the number of spikes per plant and harvest index, and in stress conditions, the correlation of grain yield with the number of spikes per plant, harvest index and 1000 seed weight was positive and significant. Based on the results of stepwise regression analysis for economic yield in full irrigation condition, plant height entered the model as the only effective variable and explained 69.7% of the grain yield changes. In stress condition, three variables, the number of grain.spike<sup>-1</sup>, the number of plants and the 1000 grain weight were entered into the model respectively and explained 98.4% of the changes in economic yield. Factor analysis using principal component analysis showed that in full irrigation and stressful conditions, the first four factors were able to explain 88.2 and 88.7 percent of the data changes, respectively. The results of cluster analysis for grouping different genotypes in full irrigation and stress conditions created 3 groups. Under full irrigation conditions, the genotypes IDSN\_2, IDYN20, IDYN35, IDYN19 and the varieties Karkheh, Behrang, Dena, Aria, Shebrang, Hana and Sirvan were in the first group and the varieties Chamran2 and Mehregan were in the second group. Under stress conditions, the genotype IDYN35 and the varieties Karkheh, Sirvan, Chamran2 and Mehregan were in the first group and the genotypes IDSN\_2, IDYN20, IDYN19 and the cultivars Behrang, Dena, Aria, Shebrang and Hana were in the second group. In both conditions, the variety Sherdandan was alone in the third group.

**Conclusion:** According to the research conducted, the IDYN-19 line had a high yield in both full irrigation and stress conditions, and the IDYN-35 line also had a high tolerance to drought stress. It is suggested to use these lines in the breeding program, compatibility and stability of these lines should be investigated in the relevant tests.

**Keywords:** Cluster analysis, Factor analysis, Path analysis

## تجزیه چند متغیره ژنوتیپ‌های جدید گندم دوروم (*Triticum durum* L.) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل

راشین طاهری<sup>۱</sup>، زهرا خدارحم‌پور<sup>۲\*</sup>، منوچهر خدارحمی<sup>۳</sup>، محمد مرادی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه ژنتیک و به‌نژادی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir](mailto:zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.364731.1279

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

### چکیده

در این مطالعه جهت بررسی روابط صفات با استفاده از تجزیه‌های چند متغیره، ۱۱ رقم و لاین گندم دوروم شامل: شتردندان، IDSN-2، IDYN-20، IDYN-35، IDYN-19، کرخه، بهرنک، دنا، آریا، شیرنگ و هانا به همراه سه رقم گندم نان شامل: سیروان، چمران ۲ و مهرگان در دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری بعد از مرحله گرده افشانی بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به مدت دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ضرایب همبستگی پیروسون بین صفات مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل نشان داد که عملکرد اقتصادی همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد سنبله در بوته و شاخص برداشت و در شرایط تنش نیز همبستگی عملکرد دانه با تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد اقتصادی در شرایط آبیاری کامل، ارتفاع بوته به عنوان تنها متغیر مؤثر وارد مدل شده و ۶۹/۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. در شرایط تنش، سه متغیر تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته و وزن هزار دانه به ترتیب وارد مدل شدند و در مجموع ۹۸/۴ درصد از تغییرات عملکرد اقتصادی را توجیه کردند. تجزیه به عامل‌ها نشان داد در شرایط آبیاری کامل و تنش چهار عامل اول توانستند به ترتیب ۸۸/۲ و ۸۸/۷ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کنند. نتایج تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط آبیاری کامل و تنش باعث ایجاد ۳ گروه شد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه علیت

### مقدمه

دشت‌های بزرگ آمریکای شمالی، روسیه و قزاقستان است (Tidiane Sall et al., 2020). سطح زیر کشت این محصول در ایران در سال ۱۳۹۷، ۱۴۷ هزار هکتار گزارش شده است (Najafi Mirak et al., 2021). ارقام آریا، دنا، ساجی، آران، دهدشت و ثنا از جمله ارقام اصلاح شده گندم دوروم در ایران می‌باشند. این گیاه تنها گیاه تتراپلوئیدی است که ارزش تجاری بالایی دارد و در سطح وسیعی نیز کشت می‌شود. گندم دوروم با داشتن درصد بالایی پروتئین (۱۲-۱۴ درصد) در مقایسه با گندم نان (۱۰-۱۲ درصد) و برنج (۷ درصد) از جمله‌ی مهمترین مواد غذایی به شمار می‌رود (Martínez-Moreno et al., 2022).

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد در سرتاسر جهان و گسترده‌ترین عامل محدودکننده تولید غلات به‌ویژه در مناطق خشک است (Wasaya et al., 2018). میزان

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در سرتاسر جهان است که از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید رتبه دوم را در بین گیاهان مختلف زراعی دارا می‌باشد (FAOSTAT, 2018). گندم ۳۰ درصد غلات تولیدی جهان را شامل می‌شود، درحالی‌که ۵۵ درصد کربوهیدرات و ۲۰ درصد کالری مصرفی جهان را تأمین می‌کند (Enghiad et al., 2017). گندم دوروم (*Triticum turgidum* var. *durum*) دومین گونه زراعی مهم گندم است که در دنیا در سطحی معادل ۱۷ میلیون هکتار کشت می‌شود (CIMMYT, 2019). میزان تولید آن در سال ۲۰۱۹، ۳۸/۱ میلیون تن گزارش شده است (Xynias et al., 2020). این محصول در حال حاضر حدود هشت درصد از کل گندم تولیدی دنیا را شامل شده و مناطق اصلی کشت آن در حوضه مدیترانه،

را توجیه کردند. عامل اول به عنوان عامل مؤثر بر خصوصیات برگ پرچم، عامل دوم عامل مؤثر بر ارتفاع و عامل سوم عامل مؤثر بر زیست‌توده نامگذاری شد (Heidarinezhad et al., 2018). در یک مطالعه که به منظور بررسی تنوع ژنتیکی ۱۴۱ رقم بومی گندم دوروم جمع‌آوری شده از مناطق مختلف اتیوپی همراه با ۱۹ رقم معرفی شده با استفاده از صفات آگرومورفولوژیکی انجام شد، نمونه‌ها براساس صفات اندازه‌گیری شده و با استفاده از داده‌های استاندارد شده در ۷ گروه دسته‌بندی شدند. گروه سوم دارای بیشترین مقدار برای وزن هزارانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بود (Wondifaw et al., 2020).

معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار و متحمل به خشکی یکی از اهداف مهم امروزی برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان است (Singh et al., 2019). بنابراین، گزینش ژنوتیپ‌های گندم دوروم متحمل به خشکی، ابزار کلیدی مفیدی است که توسط اصلاح‌گران غلات برای افزایش تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wang et al., 2018). اصلاح‌گران نبات در گذشته عملکرد گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود داده‌اند (Sehgal et al., 2018). اما پیشرفت‌های قبلی در بازده ژنتیکی عملکرد دانه به مقدار کافی نبوده است که پاسخگوی تقاضای نیاز غذایی جامعه ناشی از افزایش جمعیت جهان و تغییرات اقلیمی باشد. بنابراین این پژوهش با هدف مطالعه روابط بین صفات در دو شرایط و واکنش ارقام گندم دوروم و گندم نان (بعنوان شاهد) به تنش خشکی انتهایی فصل با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره صورت پذیرفت.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت بررسی روابط صفات با استفاده از تجزیه‌های چند متغیره، ۱۱ رقم و لاین گندم دوروم، شتردندان، IDYN-19، IDYN-35، IDYN-20، IDSN-2، به‌رنگ، دنا، آریا، شبرنگ و هانا به همراه سه رقم گندم نان، سیروان، چمران ۲ و مهرگان به عنوان شاهد در دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری بعد از مرحله گرده افشانی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به مدت دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز واقع

تأثیر تنش خشکی به شدت، زمان و طول دوره وقوع تنش بستگی دارد. به عنوان مثال کمبود آب در مراحل بحرانی رشد گندم مانند گلدهی و پرشدن دانه می‌تواند تا حد زیادی عملکرد و میزان تولید را تحت تأثیر قرار دهد (Richard et al., 2015). در برنامه‌های اصلاحی عملکرد دانه و اجزای آن به طور گسترده‌ای برای گزینش ارقام گندم دوروم متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گرفته است (Mwadingeni et al., 2016). توجه و درک دقیق روابط داخلی صفات گوناگون و تعیین عامل‌های توجیه کننده خصوصیات مورد بررسی از ضروریات بوده، و از طرفی با توجه به ویژگی‌های تجزیه‌های آماری چند متغیره، جهت درک عمیق ساختار داده‌ها از تجزیه به عامل‌ها و کاهش متغیرها به تعداد کمی عامل بهره برده می‌شود. تجزیه به عامل‌ها به طور مؤثر برای درک روابط و ساختار اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی گیاهان زراعی بکار گرفته می‌شود (Tosimojarad et al., 2005). تجزیه خوشه‌ای یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره است که جهت بررسی رابطه خویشاوندی مواد گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که ارقام گوناگون دارای تنوع زیادی از نظر صفات مختلف می‌باشند، لذا جهت انتخاب بهترین ارقام و ژنوتیپ‌ها علاوه بر استفاده از روش محاسبه همبستگی، از روش‌های مختلف آماری بهره برده می‌شود. تجزیه خوشه‌ای اصولی‌ترین روش برای برآورد شباهت افراد در یک مجموعه است (Farshadfar, 2005).

در پژوهشی با بررسی ۱۴۸ لاین اینبرد گندم نان به همراه والدین در دو شرایط آبیاری کامل و تنش کم آبی انتهایی فصل گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ کلیه صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. عملکرد دانه با روز تا سنبله‌دهی، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه و سنبله و میزان انتقال مجدد در هر دو شرایط همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. بر اساس نتایج تجزیه کلاستر، ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط به چهار گروه دسته‌بندی شدند. در تجزیه به عامل‌ها، در هر دو شرایط چهار عامل وارد مدل شدند که در شرایط آبیاری کامل و تنش به ترتیب ۷۷/۸۵ و ۶۸/۷۶ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین نمودند (Hamzeh et al., 2019). در مطالعه ژنوتیپ گندم دوروم پنج عامل با داشتن ریشه‌های بزرگتر از یک معنی‌دار شده و ۸۴/۶۵ درصد از تغییرات داده‌ها

بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها، برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع بوته ثبت شد، طول سنبله (فاصله یقه سنبله اصلی (ابتدای سنبله) تا نوک آن، بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها در ده ساقه برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها به عنوان طول سنبله منظور گردید)، طول پدانکل (برای اندازه‌گیری این صفت فاصله آخرین گره تا یقه سنبله در ساقه اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به عنوان طول پدانکل لحاظ گردید)، طول میانگره (برای اندازه‌گیری این صفت فاصله بین برگ پرچم تا یقه سنبله اندازه‌گیری شد)، طول دانه (طول دانه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد)، عرض دانه (عرض دانه از پهن‌ترین قسمت دانه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد)، تعداد بوته (تعداد بوته در هر واحد آزمایشی شمارش گردید)، تعداد پنجه (برای اندازه‌گیری این صفت، تعداد پنجه بارور در هر بوته شمارش و ثبت گردید)، تعداد سنبله در بوته (تعداد سنبله در ده بوته شمارش و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد سنبله در بوته ثبت گردید)، تعداد دانه در سنبله (جهت شمارش تعداد دانه در سنبله، پس از جداسازی دانه‌ها، تعداد دانه در هر یک از سنبله‌های اصلی شمارش و به عنوان تعداد دانه در سنبله اصلی ثبت گردید)، تعداد سنبلچه در سنبله (تعداد سنبلچه در هر سنبله شمارش و برای این صفت منظور گردید)، عملکرد دانه تک بوته (وزن دانه در ده بوته اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان وزن دانه تک بوته برحسب گرم ثبت شد)، عملکرد بیولوژیک (وزن کل بخش هوایی هر واحد آزمایشی پس از برداشت با ترازو اندازه‌گیری شد و بر حسب تن در هکتار ثبت گردید)، عملکرد دانه (پس از برداشت و جدا کردن دانه از کاه وزن دانه برای هر واحد آزمایشی با دقت یک‌صدم توزین و برحسب تن در هکتار ثبت شد)، شاخص برداشت به صورت زیر محاسبه گردید (Donald and Hamblin, 1976; Hay, 1995):

$$(1) \quad \text{عملکرد دانه} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} \times 100 = \text{شاخص برداشت}$$

وزن هزاردانه (ابتدا هزار دانه از هر لاین شمارش و سپس توزین گردید)، انتقال مجدد (در چند مرحله از زمان گرده‌افشانی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک ده ساقه اصلی به همراه سنبله جدا شده و جهت اندازه‌گیری انتقال مجدد توزین گردید). ماده خشک رسیده (بدون دانه) - ماده خشک

در ویس (با مختصات جغرافیایی  $48^{\circ}21'17'' E$  و  $31^{\circ}30'10'' N$ )، مورد ارزیابی قرار گرفت. عملیات کاشت بعد از انجام شخم و دیسک‌زنی در هفته‌ی آخر آبان (فاصله‌ی زمانی ۲۵ آبان ماه تا ۳۰ آبان ماه) بصورتیکه در هر کرت چهار خط کاشت به طول هر کدام دو متر، فاصله دو بوته روی خط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، صورت گرفت. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی - لومی با میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب  $5/3$  ppm،  $7$  و  $220$  در لایه صفر تا  $30$  سانتی‌متری خاک بود. مقدار مواد آلی در لایه‌های صفر تا  $30$  سانتی‌متر و  $30$  تا  $60$  سانتی‌متر به ترتیب  $0/76$  و  $0/52$  درصد ارزیابی شد. محل انجام آزمایش دارای اقلیم گرم و خشک با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم است. متوسط دما در فصل رشد گیاه، میانگین، حداکثر و حداقل آن به ترتیب  $21$ ،  $26/8$  و  $15$  درجه سانتی‌گراد بود. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذر صورت گرفت، آبیاری مزرعه با توجه به نیاز مزرعه در هر دو شرایط بصورت یکسان و همزمان انجام گرفت. در زمان گرده‌افشانی آبیاری در شرایط تنش خشکی انتهای فصل قطع شد، در قسمت آبیاری کامل آزمایش تا زمان رسیدگی، آبیاری‌های لازم انجام شد. جهت کودپاشی از  $150$  کیلوگرم در هکتار کود اوره، مقدار  $100$  کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و  $100$  کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در هنگام کاشت و  $100$  کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان کود سرک در ابتدای شروع مرحله طویل شدن ساقه استفاده گردید. آبیاری به روش نشتی شامل دو نوبت در پاییز با توجه به میزان بارندگی‌های پاییزه و پنج نوبت آبیاری در بهار بسته به شرایط آب و هوایی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ با علف‌کش گران‌استار به میزان  $20$  گرم در هکتار و مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ با علف‌کش پوما سوپر به میزان  $1/2$  لیتر در هکتار در مرحله پنجه زنی تا شروع ساقه رفتن انجام شد.

در این تحقیق صفات مورفوفیزیولوژیک و فنولوژیک اندازه‌گیری شدند:

الف- صفات مورفوفیزیولوژیک، در طول فصل کاشت و بعد از برداشت ده ساقه انتخاب و اندازه‌گیری صفات روی آن‌ها انجام شد، سپس میانگین ده عدد برای هر صفت ثبت گردید. این صفات شامل: ارتفاع بوته (فاصله سطح خاک تا نوک سنبله،

صفات می‌باشد. بین سال‌ها از لحاظ سایر صفات اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بین شرایط آبیاری کامل و تنش، از لحاظ صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و اقتصادی، طول و عرض دانه، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اختلاف بین شرایط آبیاری کامل و تنش از لحاظ صفات شاخص برداشت و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. از لحاظ سایر صفات اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری کامل و تنش وجود نداشت. اثر متقابل سال و شرایط آبیاری تنها برای صفات انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد معنی‌دار بود که نشان می‌دهد اختلاف شرایط آبیاری تنها برای این دو صفت از سالی به سال دیگر متفاوت بوده است.

بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمام صفات اندازه‌گیری شده بجز تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اختلاف بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اثر متقابل ژنوتیپ و سال برای کلیه صفات غیر معنی‌دار بود معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ و شرایط آبیاری برای صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، طول و عرض دانه، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد در سطح احتمال یک درصد و برای روز تا گرده‌افشانی در سطح احتمال پنج درصد بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط آبیاری کامل و تنش بود. لذا باید ارقام برای این صفات در شرایط آبیاری کامل و تنش به طور جداگانه انتخاب شوند. برای سایر صفات ژنوتیپ‌ها واکنش یکسانی در شرایط آبیاری کامل و تنش داشتند. اثر متقابل ژنوتیپ و سال و شرایط آبیاری برای هیچ یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد.

### ضرایب همبستگی ساده بین صفات

بررسی ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل (جدول ۲) نشان داد که عملکرد اقتصادی همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد سنبله در بوته و شاخص برداشت و همبستگی منفی و معنی‌دار با ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله‌چه در سنبله، طول پدانکل، طول میانگره، طول دانه، عرض دانه، روز تا گرده‌افشانی و روز تا

گرده‌افشانی=میزان انتقال مجدد

کارایی انتقال مجدد از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Cox et al., 1990; Papakosta and Gayians, 1991):

$$(۲) \quad \text{ماده خشک انتقال یافته} \times 100 = \frac{\text{ماده خشک گرده‌افشانی}}{\text{ماده خشک انتقال یافته}} \text{ کارایی انتقال مجدد}$$

ب- صفات فنولوژیک شامل: تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک.

تعداد روز تا ظهور سنبله (فاصله زمانی بین کاشت تا ظهور سنبله در ۵۰ درصد بوته‌های هر یک از واحدهای آزمایشی ثبت شد). تعداد روز تا گرده‌افشانی (فاصله زمانی بین کاشت تا گرده‌افشانی ۵۰ درصد سنبله‌های واحدهای آزمایشی یادداشت شد). تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (فاصله زمانی بین کاشت تا زمان زرد شدن کامل ۵۰ درصد سنبله‌ها در هر یک از واحدهای آزمایشی به عنوان صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ثبت شد).

پس از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا برقراری فرضیات تجزیه واریانس شامل نرمال بودن خطاها توسط آزمون شاپیرو-ویلک، مستقل بودن خطاها به وسیله آزمون دوربین-واتسون و یکنواختی واریانس درون تیماری به کمک آزمون پارتلت مورد بررسی قرار گرفت. بعد از تجزیه مرکب، تجزیه واریانس جداگانه برای هر سال در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی فصل به صورت جداگانه برای صفات با استفاده از نرم‌افزارهای ver 9.4 SAS و ver 3.4.1. META-R انجام گرفت. ضرایب همبستگی بین صفات، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت و تجزیه عاملی روابط بین صفات مورد بررسی قرار گرفت و ژنوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD با استفاده از داده‌های استاندارد و فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار ver 20. SPSS گروه‌بندی شدند.

### نتایج و بحث

#### تجزیه واریانس مرکب

بر اساس نتایج حاصل (جدول ۱) اختلاف بین سال‌ها تنها برای صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و انتقال مجدد و صفات فنولوژیک شامل: تعداد روز تا ظهور سنبله، روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود که نشان دهنده اختلاف بین سال‌ها از نظر این

معنی‌داری بین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن دانه در سنبله، شاخص برداشت و تراکم سنبله گندم تحت رژیم‌های مختلف تنش رطوبتی مشاهده شد (Kirigwi, 2004). همبستگی معنی‌دار بین وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان‌دهنده سهم مهم این صفات در عملکرد دانه است. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد با تعداد سنبله و وزن هزاردانه توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Dayem et al., 2021; Maurya et al., 2020).

### تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت صفات

بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام (جدول ۳) برای عملکرد اقتصادی در شرایط آبیاری کامل، ارتفاع بوته به عنوان تنها متغیر مؤثر وارد مدل شده و ۶۹/۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. به این ترتیب ارتفاع بوته به عنوان مهم‌ترین صفت تعیین‌کننده عملکرد در شرایط آبیاری کامل تعیین شد. این صفت دارای همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه ( $r = -0.849$ ) بود. وارد نشدن اجزای عملکرد به مدل رگرسیونی دلیل بر عدم تاثیر آن‌ها نیست و شاید صفات مورد بحث دارای روابط غیر خطی با عملکرد باشند و به این دلیل در مدل قرار نگرفتند. لازم به ذکر است که ضریب ارتفاع در معادله رگرسیونی منفی بود که نشان‌دهنده رابطه معکوس این صفت با عملکرد اقتصادی می‌باشد.

نتایج تجزیه رگرسیون در شرایط تنش (جدول ۴) نشان داد که سه متغیر تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته و وزن هزار دانه به ترتیب وارد مدل شدند و در مجموع ۹۸/۴ درصد از تغییرات عملکرد اقتصادی را توجیه کردند. در میان این صفات نخستین متغیری که وارد مدل شد تعداد دانه در سنبله بود که ۸۵ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کرد. در مرحله بعد صفت تعداد بوته به مدل اضافه شد و درصد توجیه تغییرات عملکرد با این دو صفت به ۹۴ درصد رسید و حضور وزن هزاردانه در مدل درصد توجیه آن را به ترتیب به ۹۸/۴ درصد افزایش داد. به این ترتیب صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته و وزن هزار دانه به عنوان مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده عملکرد اقتصادی در شرایط تنش تعیین شدند.

رسیدگی فیزیولوژیک داشت و با سایر صفات همبستگی معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش نیز همبستگی عملکرد دانه با تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت و وزن هزاردانه مثبت و معنی‌دار و همبستگی عملکرد اقتصادی با ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در سنبله، طول پدانکل، طول میانگره، طول دانه، عرض دانه، روز تا ظهور سنبله، روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک منفی و معنی‌دار بود (جدول ۲).

همبستگی مثبت عملکرد اقتصادی با تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت و وزن هزار دانه نشان‌دهنده تاثیر اجزای عملکرد بر عملکرد اقتصادی می‌باشد، به عبارت دیگر با افزایش اجزای عملکرد، عملکرد اقتصادی نیز افزایش می‌یابد.

می‌توان چنین استنباط نمود که ژنوتیپ‌هایی که تعداد سنبله، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بیشتری دارند، دارای عملکرد بالاتری می‌باشند. همچنین این مطلب نشان‌دهنده این موضوع است که این ژنوتیپ‌ها توانسته‌اند حداکثر استفاده از منابع موجود را برده و در نتیجه تعداد سنبله، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بیشتری را تولید نمایند.

در شرایط آزمایش حاضر افزایش طول دوره رشد سبب بروز تنش در گیاه و کاهش عملکرد اقتصادی شده است (همبستگی منفی و معنی‌دار صفات فنولوژیک با عملکرد اقتصادی به ویژه در شرایط تنش که تنش طبیعی پایان فصل، تنش اعمال شده را شدت بخشیده است). همبستگی بالای صفات فنولوژیک با یکدیگر و همبستگی منفی آن‌ها با عملکرد اقتصادی نشان‌دهنده اهمیت زودرسی و فرار از تنش می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه تعداد روز تا ظهور سنبله، گرده‌افشانی و رسیدگی کوتاه‌تر باشد و گیاه از شرایط خشک‌تر انتهای فصل فرار کند، کاهش عملکرد کمتری خواهد داشت. این موضوع می‌تواند راهکار مناسبی جهت اصلاح برای شرایط تنش باشد. در پژوهشی همبستگی منفی صفات فنولوژیک با عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش شده است. همچنین میزان همبستگی در شرایط تنش شدیدتر از شرایط غیر تنش بوده، که احتمالاً دلالت بر تأثیر بیشتر این مراحل در عملکرد دانه از طریق مکانیسم‌های فرار از خشکی می‌باشد (Golabadi et al., 2018). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با شاخص برداشت به ویژه در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش شده است (Pour-Aboughadareh et al., 2020). همبستگی

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب میانگین مربعات صفات مختلف زنوتیپ‌های گندم دوروم تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی فصل در دو سال زراعی

Table 1- Composite variance analysis of mean squares of different traits of durum wheat genotypes under full irrigation and terminal drought stress conditions in two crop years

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد بوته	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد اقتصادی	شاخص برداشت
Source of variance	Degree of freedom	No. plant	Plant height	Spike length	Spiklet/spike <sup>-1</sup>	Grain. spike <sup>-1</sup>	1000 grain weight	Biological yield	Economical yield	Harvest index
سال	1	1.7 <sup>ns</sup>	905 <sup>**</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	24.9 <sup>**</sup>	17.8 <sup>**</sup>	0.022 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>
Year										
تنش	1	250 <sup>ns</sup>	729 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	4.5 <sup>ns</sup>	2298 <sup>**</sup>	6256 <sup>**</sup>	2988626117 <sup>**</sup>	303766.36 <sup>**</sup>	755 <sup>*</sup>
Stress										
سال × تنش	1	22 <sup>ns</sup>	15 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>
Year×Stress										
تکرار (سال × تنش)	8	518	62.5	0.04	0.985	0.81	0.45	5472	48	0.53
Replication (Year×Stress)										
ژنوتیپ	13	31492 <sup>**</sup>	939 <sup>**</sup>	22.9 <sup>**</sup>	58.02 <sup>**</sup>	121 <sup>ns</sup>	60.2 <sup>ns</sup>	2841525 <sup>**</sup>	1120351 <sup>**</sup>	605 <sup>**</sup>
Genotype										
ژنوتیپ × سال	13	11.5 <sup>ns</sup>	8.4 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	2199 <sup>ns</sup>	381 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>
Genotype×Year										
ژنوتیپ × تنش	13	781 <sup>ns</sup>	3.1 <sup>ns</sup>	0.096 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	48.5 <sup>**</sup>	22.4 <sup>**</sup>	2831375 <sup>**</sup>	1115785 <sup>**</sup>	36 <sup>**</sup>
Genotype×Stress										
ژنوتیپ × سال × تنش	13	15 <sup>ns</sup>	2.9 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	2191 <sup>ns</sup>	381 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>
Genotype×Year×Stress										
خطای آزمایشی	104	510	12.7	0.07	0.30	0.77	1.2	3434	501	0.44
Experimental error										
ضریب تغییرات	-	7.4	4.3	3.8	3.35	2.2	3.3	1.4	1.7	1.9
Coefficient of variation										
منابع تغییر	درجه آزادی	طول پدانکل	طول میانگره	عرض دانه	طول دانه	انتقال مجدد	کارایی انتقال مجدد	روز تا ظهور سنبله	روز تا گرده‌افشانی	روز تا رسیدگی
Source of variance	Degree of freedom	Peduncle length	Internode length	Grain width	Grain length	Retransmit	Retransmission efficiency	Day to heading	Day to pollination	Day to maturity
سال	1	0.2 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	10.4 <sup>**</sup>	6.7 <sup>ns</sup>	424 <sup>**</sup>	372 <sup>**</sup>	301 <sup>**</sup>
Year										
تنش	1	7.4 <sup>ns</sup>	1.5 <sup>ns</sup>	7.21 <sup>**</sup>	0.16 <sup>**</sup>	20026.4 <sup>**</sup>	27828 <sup>**</sup>	3.7 <sup>ns</sup>	3.4 <sup>ns</sup>	3411 <sup>*</sup>
Stress										
سال × تنش	1	0.17 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	3.5 <sup>**</sup>	3.9 <sup>**</sup>	11 <sup>ns</sup>	5 <sup>ns</sup>	2 <sup>ns</sup>
Year×Stress										
تکرار (سال × تنش)	8	1.7	7.5	0.07	0.001	0.3	0.02	17	19.5	17
Replication (Year×Stress)										
ژنوتیپ	13	330 <sup>**</sup>	21 <sup>**</sup>	0.006 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	53.5 <sup>**</sup>	36.3 <sup>**</sup>	155.5 <sup>**</sup>	283.7 <sup>**</sup>	505 <sup>**</sup>
Genotype										
ژنوتیپ × سال	13	0.02 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	2 <sup>ns</sup>	1.4 <sup>ns</sup>	2.3 <sup>ns</sup>
Genotype×Year										
ژنوتیپ × تنش	13	0.12 <sup>ns</sup>	0.024 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>**</sup>	0.002 <sup>**</sup>	43.5 <sup>**</sup>	29.8 <sup>**</sup>	8.6 <sup>ns</sup>	8.5 <sup>*</sup>	13.3 <sup>ns</sup>
Genotype×Stress										
ژنوتیپ × سال × تنش	13	0.21 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.0003 <sup>ns</sup>	0.00008 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.4 <sup>ns</sup>	2.9 <sup>ns</sup>	1.8 <sup>ns</sup>
Genotype×Year×Stress										
خطای آزمایشی	104	0.7	1.8	0.03	0.0003	0.3	0.19	3.7	2.1	3.8
Experimental error										
ضریب تغییرات	-	2.3	9.5	8.7	2.7	2.3	2.4	1.9	1.4	1.5
Coefficient of variation										

ns, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, \* and \*\* Not significant and significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۲- ضرایب همبستگی صفات مختلف در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط آبیاری کامل (پایین قطر) و تنش خشکی انتهایی فصل (بالای قطر)

Table 2- Coefficients of correlation of of different traits in durum wheat genotypes in full irrigation (bottom diameter) and terminal drought stress (above diameter) conditions

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	-	-0.683**	-0.403	-0.722**	0.033	0.342	-0.02	0.845**	0.799**	-0.672**	-0.346	-0.52	-0.801**	0.214	0.096	-0.713**	-0.690**	-0.699**
2	-0.635**	-	0.785**	0.935**	-0.199	-0.635	0.138	-0.790**	-0.824**	0.844**	0.727**	0.614*	0.827**	-0.234	-0.271	0.739**	0.826**	0.735**
3	-0.358	0.80**	-	0.789**	-0.212	-0.78	0.154	-0.625**	-0.679**	0.513	0.774**	0.268	0.485	-0.507	-0.468	0.408	0.622*	0.351
4	-0.692**	0.935**	0.784**	-	-0.15	-0.606	0.094	-0.786**	-0.795**	0.870**	0.740**	-0.719**	0.825**	-0.237	-0.202	0.820**	0.871**	0.760**
5	-0.007	-0.157	-0.019	0.102	-	-0.042	0.197	0.456	0.335	-0.204	-0.259	-0.308	-0.287	-0.076	-0.064	0.115	-0.096	-0.021
6	-0.098	-0.227	-0.492	0.276	-0.450	-	0.22	0.547	0.381	-0.496	-0.688**	-0.075	-0.415	0.619*	0.798**	-0.452	-0.693**	-0.473
7	0.229	-0.046	0.063	-0.017	0.241	0.131	-	0.181	-0.379	-0.177	-0.112	-0.171	-0.163	-0.061	0.152	-0.232	-0.313	-0.358
8	0.699**	-0.849**	-0.80**	-0.839**	0.137	0.428	0.309	-	0.84**	-0.77	-0.610*	-0.556**	-0.865**	0.305	0.289	-0.628*	-0.765**	-0.692**
9	0.576*	-0.844**	-0.858**	-0.854**	0.021	0.346	-0.255	0.84**	-	-0.630*	0.521	-0.444	-0.729**	0.293	0.163	-0.466	-0.545*	-0.453
10	-0.719**	0.818**	0.520	0.891**	0.184	-0.009	-0.183	-0.651*	-0.572*	-	0.635*	0.822**	0.891**	-0.1	-0.165	0.892**	0.879**	0.921**
11	-0.321	0.719**	0.749**	0.732**	-0.118	-0.394	-0.241	-0.672**	-0.557*	0.623	-	0.387	0.493	-0.185	-0.251	0.495	0.693**	0.476
12	-0.777**	0.754**	0.510	0.768**	0.090	-0.157	-0.260	-0.706**	-0.566*	0.823**	0.445	-	0.744**	0.172	0.226	0.805**	0.697**	0.790**
13	-0.716**	0.773**	0.555*	0.844**	-0.252	0.116	-0.145	-0.608*	-0.558*	0.915**	0.555*	0.719**	-	-0.031	-0.083	0.825**	0.843**	0.868**
14	-0.192	-0.250	-0.333	-0.262	-0.255	0.776**	0.185	0.293	0.188	-0.053	-0.339	-0.199	0.015	-	0.853**	-0.014	-0.209	-0.046
15	-0.210	-0.229	-0.249	-0.213	-0.197	0.678	0.118	0.224	0.150	-0.009	-0.286	-0.160	0.048	0.970**	-	-0.058	-0.29	-0.144
16	-0.762**	-0.658*	0.256	0.750**	-0.157	0.145	-0.206	-0.526	-0.432	0.920**	0.316	0.761**	0.849**	0.062	0.100	-	-0.058	-0.29
17	-0.739**	0.892**	0.633*	0.935**	-0.226	-0.141	-0.258	-0.82**	-0.704**	0.922**	0.626*	0.797**	0.885**	-0.212	-0.145	0.860**	-	0.924**
18	-0.767**	0.818**	0.453	0.826**	-0.224	-0.026	-0.408	-0.732**	-0.527	0.906**	0.564*	0.808**	0.841**	-0.135	-0.083	0.876**	0.957**	-

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

\* and \*\* significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

۱= تعداد بوته No. plant، ۲= ارتفاع بوته Plant height، ۳= طول سنبله Spike lenght، ۴= تعداد سنبله در سنبله<sup>۱</sup> Spiket.spike، ۵= تعداد دانه در سنبله Grain.spike<sup>-1</sup>، ۶= وزن هزاردانه 1000 grain weight، ۷= عملکرد بیولوژیک Biological yield، ۸= عملکرد اقتصادی Economical yield، ۹= شاخص برداشت Harvest index، ۱۰= طول پدانکل Peduncle lenght، ۱۱= طول میانگه Internode lenght، ۱۲= عرض دانه Grain width، ۱۳= طول دانه Grain lenght، ۱۴= انتقال مجدد Retransmit، ۱۵= کارایی انتقال مجدد Retransmission efficiency، ۱۶= روز تا ظهور سنبله Day to heading، ۱۷= روز تا گرده‌افشانی Day to pollination، ۱۸= روز تا رسیدگی Day to maturity

جدول ۳- ضرایب رگرسیون صفات مؤثر بر عملکرد اقتصادی ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس مدل رگرسیونی گام‌به‌گام در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی فصل

Table 3- Regression coefficients of traits affecting the economic yield of durum wheat genotypes based on the stepwise regression model in full irrigation and terminal drought stress conditions

شرایط Condition	متغیر Variable	ضریب رگرسیون Regression coefficient	ضریب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficient	ضریب تبیین مرحله‌ای Stepwise determination coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative determination coefficient
آبیاری کامل Full irrigation	ارتفاع بوته Plant height	-0.080	0.849**	0.697	0.697
	عرض از مبدأ Intercept	11.135			
تنش خشکی انتهایی فصل Terminal drought stress	تعداد دانه در سنبله Grain. Spike <sup>-1</sup>	0.069	0.446**	0.85	0.85
	تعداد بوته No. plant	0.009	0.722**	0.09	0.94
	وزن هزاردانه 1000 grain weight	0.098	0.319**	0.044	0.984
	عرض از مبدأ Intercept	-5.334			

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

\*\* Significant at 0.01 probability level

صفات در معادله رگرسیونی مثبت بود که نشان دهنده رابطه مستقیم این صفات با عملکرد اقتصادی می‌باشد.

جهت تفسیر بهتر نتایج رگرسیون گام به گام، تجزیه علیت انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه علیت (جدول ۴) نشان داد که هر سه صفت تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته و وزن هزار دانه اثر مستقیم مثبت بر عملکرد اقتصادی داشتند که بیشترین اثر مستقیم مربوط به اثر مستقیم تعداد بوته بر عملکرد اقتصادی (۰/۷۲۲) بود، به همین دلیل گزینش بر مبنای این صفت در جهت افزایش عملکرد مفید خواهد بود.

در شرایط تنش تعداد بوته دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد اقتصادی ( $r=0/845$ ) بود و همبستگی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه با عملکرد اقتصادی نیز مثبت و معنی‌دار (به ترتیب  $r=0/456$  و  $r=0/547$ ) بود. این صفات که مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه نیز می‌باشند، می‌توانند به عنوان صفات اصلی تعیین کننده عملکرد دانه در نظر گرفته شوند، بنابراین گزینش این صفات در صورتی که رقم مناسب برای آن‌ها وجود داشته باشد که پس از تلاقی در بین زاده‌های آن برای تعیین بهترین نتاج، جستجو و غربالگری کرد، می‌تواند افزایش عملکرد و تولید ارقام دارای عملکرد بالا را در پی داشته باشد. ضرایب

جدول ۴- نتایج تجزیه علیت عملکرد اقتصادی ژنوتیپ‌های گندم دوروم با صفات وارد شده به مدل بر اساس رگرسیون گام به گام در شرایط تنش خشکی انتهای فصل

Table 4- Results of path analysis of economical yield of durum wheat genotypes with traits entered to model based stepwise regression at the terminal drought stress conditions

صفات مانده در مدل Traits remaining in the model	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect through			ضریب همبستگی با عملکرد اقتصادی Correlation coefficient with economical yield
		تعداد دانه در سنبله	تعداد بوته	وزن هزار دانه	
تعداد دانه در سنبله Grain. Spike <sup>1</sup>	0.446**	-	0.024	-0.013	0.456**
تعداد بوته No. plant	0.722**	0.015	-	0.109	0.845**
وزن هزار دانه 1000 grain weight	0.319**	-0.019	0.247	-	0.547**

Residual effect 0.012 اثر باقیمانده

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

\*\* : significant at 0.01 probability level

یکدیگر منفی بود. زیرا با افزایش تعداد دانه، وزن هزار دانه کاهش یافت (Sadegh Ghol Moghadam et al., 2020) در پژوهشی براساس نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام وزن هزار دانه به عنوان مهم‌ترین مؤلفه که ارتباط نزدیک‌تری با عملکرد دانه داشت، معرفی گردید. نتایج تجزیه علیت در مطالعه آن‌ها نشان داد که وزن هزار دانه و طول سنبله بالاترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند (Bakhtiyar et al., 2021).

### تجزیه عاملی صفات

برای مطالعه روابط بین صفات از روش تجزیه عاملی بر اساس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. جهت انتخاب تعداد عامل‌ها، عامل‌هایی که مقدار ویژه یک و بالاتر از یک داشتند، انتخاب شدند. مقدار آماره KMO و آزمون

همچنین وجود همبستگی معنی‌دار و رابطه خطی با عملکرد دانه تأییدی بر اهمیت تعداد بوته در افزایش عملکرد اقتصادی است. اثر غیر مستقیم دو صفت تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه از طریق یکدیگر بر عملکرد اقتصادی منفی بود. بدیهی است با افزایش تعداد دانه سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی کاهش یافته و نهایتاً وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. بیشترین اثر غیر مستقیم مربوط به اثر غیر مستقیم وزن هزار دانه بر عملکرد اقتصادی از طریق تعداد بوته بود. در تحقیقی بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون صفات، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به عنوان مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه گندم معرفی گردید. بیشترین اثر مستقیم در بین صفات مربوط به وزن هزار دانه و اثر غیر مستقیم اجزای عملکرد از طریق

اشتراک بالا برای صفات در این عامل‌های دوم، سوم و چهارم نیز نشان دهنده تاثیر بسیار بالای صفات برای عامل‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط تنش خشکی در جدول ۵ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، چهار عامل شناسایی شد که ۸۸/۷۲۳ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کردند.

عامل اول در مجموع دو شرایط دارای ضرایب مثبت و بزرگتر از ۰/۵ برای صفات ارتفاع، طول سنبله، طول پدانکل، طول میانگره، طول دانه، عرض دانه، تعداد سنبلیچه در سنبله، روز تا ظهور سنبله، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک و ضرایب بزرگ و منفی برای صفات عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و تعداد پنجه بود. بنابراین این عامل را می‌توان عامل مؤثر بر عملکرد نام‌گذاری کرد. این عامل به تنهایی ۵۴/۳۰۱ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کرد. عامل دوم دارای ضریب مثبت و بزرگتر از ۰/۵ برای صفات وزن هزاردانه، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد بود، این عامل را می‌توان عامل مؤثر بر وزن هزار دانه نامید. در صورت نیاز به بهبود وزن هزاردانه می‌بایست از عامل دوم استفاده گردد. عامل سوم نیز دارای ضرایب مثبت و بزرگتر از ۰/۵ برای صفت عملکرد بیولوژیک بود و می‌توان آن را به عنوان عامل مؤثر بر عملکرد بیولوژیک معرفی کرد. عامل چهارم با داشتن ضریب بزرگ و مثبت برای صفت تعداد دانه در سنبله به عنوان عامل مؤثر بر تعداد دانه در سنبله در نظر گرفته شد. میزان اشتراک برای تمامی صفات وارد شده به عامل‌های مختلف در حد بالایی بوده که این نشان‌دهنده تأثیر خوب و قابل قبول فاکتورهای مشترک برای این صفات می‌باشد. در پژوهشی با بررسی ۱۴۸ لاین اینبرد گندم نان به همراه والدین در دو شرایط آبیاری کامل و تنش کم آبی انتهای فصل گزارش کردند که در تجزیه به عامل‌ها، در هر دو شرایط چهار عامل وارد مدل شدند که در شرایط آبیاری کامل و تنش به ترتیب ۷۷/۸۵ و ۶۸/۷۶ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین نمودند (Hamzeh et al., 2019). در مطالعه ژنوتیپ گندم دوروم پنج عامل با داشتن ریشه‌های بزرگتر از یک معنی‌دار شده و ۸۴/۶۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. عامل اول به عنوان عامل مؤثر بر خصوصیات برگ پرچم، عامل دوم عامل مؤثر بر ارتفاع و عامل سوم عامل مؤثر بر زیست‌توده نامگذاری شد (Heidarinezhad et al., 2018).

اسفربستی بارلت برای بررسی کافی بودن همبستگی بین داده‌ها برای انجام تجزیه عاملی بررسی شد و ضرایب عاملی بزرگتر از ۰/۵ صرف‌نظر از علامت مربوطه به عنوان ضرایب معنی‌دار در نظر گرفته شدند. پس از انجام تجزیه عاملی با در نظر گرفتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، چهار عامل اول در دو شرایط توانستند به ترتیب ۵۴/۵۱، ۱۸/۱۹، ۸/۸۵ و ۶/۶۵ و در مجموع ۸۸/۲۰ درصد از واریانس بین صفات را تبیین کنند (جدول ۵). در عامل اول بالاترین سهم در توجیه واریانس متعلق به صفات تعداد سنبلیچه در سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی، ارتفاع، طول پدانکل، عملکرد اقتصادی، طول دانه، عرض دانه، روز تا ظهور سنبله، شاخص برداشت، تعداد بوته، طول سنبله و طول میانگره بود. لذا این عامل را می‌توان عامل مؤثر بر عملکرد نامگذاری کرد. با توجه به اینکه این عامل به تنهایی ۵۴/۵۱ درصد از تغییرات کل را توجیه کرده است لذا صفاتی که در این عامل دارای ضرایب بزرگ هستند، مهم‌ترین صفات در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. میزان اشتراک برای تمامی صفات وارد شده به عامل اول در حد نسبتاً بالایی بوده که این نشان دهنده تاثیر خوب و قابل قبول فاکتورهای مشترک برای این صفات می‌باشد. تمام صفاتی که در این عامل دارای ضریب بزرگ بودند به غیر از صفات عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و تعداد بوته، دارای ضریب منفی بودند، لذا افزایش مقدار صفات فنولوژیک و مورفولوژیک سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک خواهد شد. به این ترتیب جهت افزایش عملکرد لازم است طول دوره‌های فنولوژیک کاهش یابد که با کاهش دوره‌های فنولوژیک طول دوره رشد رویشی کاهش می‌یابد که در نهایت موجب کاهش صفات مورفولوژیک می‌شود. ارزیابی ارقام پیشرفته گندم نشان داده است که ارقام زودرس دارای عملکرد بالاتری هستند.

عامل دوم که دارای ضرایب بزرگ و مثبت برای صفات وزن هزاردانه، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد بود را می‌توان به عنوان عامل مؤثر بر وزن هزاردانه نامگذاری کرد. عامل سوم که دارای ضریب بزرگ و مثبت برای صفت عملکرد بیولوژیک بود، می‌تواند به عنوان عامل مؤثر بر عملکرد بیولوژیک و عامل چهارم که دارای ضریب بزرگ و مثبت برای تعداد دانه در سنبله بود، به عنوان عامل مؤثر بر تعداد دانه در سنبله معرفی گردد. میزان

جدول ۵- نتایج تجزیه به عامل‌ها برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی فصل  
 Table 5- Results of factor analysis for different traits of durum wheat genotypes in full irrigation and terminal drought stress conditions

صفات / شرایط Traits/condition	آبیاری کامل Full irrigation				تنش خشکی انتهایی فصل Terminal drought stress			
	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor	عامل چهارم Fourth factor	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor	عامل چهارم Fourth factor
	ارتفاع بوته Plant height	0.942	-0.08	0.159	-0.105	0.908	-0.208	0.227
طول سنبله Spike length	0.744	-0.375	0.391	-0.246	0.615	-0.581	0.272	-0.246
طول پدانکل Peduncle length	0.916	0.244	-0.082	0.071	0.948	0.009	-0.128	0.071
طول میانگره Internode length	0.718	-0.292	0.007	-0.349	0.657	-0.351	-0.027	-0.349
طول دانه Grain length	0.868	0.312	-0.016	-0.017	0.939	0.091	-0.040	-0.017
عرض دانه Grain length	0.848	0.057	-0.134	0.351	0.804	0.398	-0.150	0.351
روز تا ظهور سنبله Day to heading	0.796	0.421	-0.182	0.238	0.913	0.094	-0.196	0.238
روز تا گرده‌افشانی Day to pollination	0.971	0.094	-0.102	-0.019	0.928	-0.184	-0.239	-0.019
روز تا رسیدگی Day to maturity	0.909	0.210	-0.283	0.046	0.908	0.061	-0.318	0.046
تعداد بوته No. plant	-0.766	-0.377	-0.006	-0.319	-0.812	-0.010	-0.210	-0.319
تعداد سنبله در سنبله Spiklet.spike <sup>-1</sup>	0.973	-0.063	0.160	-0.015	0.942	-0.157	0.188	-0.015
تعداد دانه در سنبله Grain.spike <sup>-1</sup>	0.136	-0.422	0.192	0.812	-0.189	-0.106	0.085	0.812
وزن هزاردانه 1000 grain weight	-0.233	0.888	0.033	-0.113	-0.523	0.802	0.155	-0.113
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.211	-0.022	0.860	0.147	-0.106	0.042	0.955	0.147
شاخص برداشت Harvest index	-0.788	0.193	-0.523	0.060	-0.751	0.133	0.552	0.060
انتقال مجدد Retransmit	-0.237	0.874	0.313	-0.042	-0.113	0.858	-0.128	-0.042
کارایی انتقال مجدد Retransmission efficiency	-0.181	0.837	0.300	-0.020	-0.124	0.924	0.134	-0.020
عملکرد اقتصادی Economical yield	-0.884	0.191	-0.034	0.123	-0.856	0.189	0.028	0.123
مقدار ویژه Eigen value	9.811	3.275	1.593	1.197	9.774	3.041	1.727	1.197
درصد واریانس Variance%	54.506	18.193	8.849	6.651	54.301	16.892	9.594	6.651
درصد واریانس تجمعی Cumulative variance%	54.506	72.699	81.548	88.199	54.301	71.193	80.787	88.199

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) = 3/76, Bartlett's test = 15/1075\*\*

### تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم دوروم

نتایج تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط آبیاری کامل و برش دندروگرام حاصل (شکل ۱A) باعث ایجاد ۳ گروه شد. بر اساس این حالت گروه‌بندی، ژنوتیپ‌های IDYN19، IDYN35، IDYN20، IDSN\_2 و ارقام کرخه، بهرنگ، دنا، آریا، شبرنگ، هانا و سیروان در گروه اول و ارقام چمران ۲ و مهرگان در گروه دوم قرار گرفتند. رقم شتردندان به تنهایی در گروه سوم قرار گرفت. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه اول به غیر از تعداد بوته، وزن هزاردانه، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد، برای سایر صفات انحراف از میانگین منفی داشتند. این ژنوتیپ‌ها بیشترین مقدار میانگین را نیز برای صفات عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و وزن هزاردانه داشتند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه دوم با داشتن انحراف از میانگین مثبت برای صفات تعداد بوته، طول سنبله، طول میانگره، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک بیشترین مقدار میانگین را نیز برای صفت تعداد بوته و کمترین مقدار میانگین را برای صفات وزن هزاردانه و صفات فنولوژیک شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک شامل تعداد بوته، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این گروه زودرس بودند. رقم شتردندان که به تنهایی در گروه سوم قرار گرفت برای صفات ارتفاع، طول پدانکل، طول میانگره، طول سنبله و صفات فنولوژیک انحراف از میانگین مثبت داشته و انحراف از میانگین این ژنوتیپ برای سایر صفات منفی بود. بیشترین مقدار میانگین برای صفات ارتفاع، طول سنبله، طول پدانکل، طول میانگره، طول و عرض دانه و صفات فنولوژیک و کمترین مقدار میانگین برای صفات تعداد بوته، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت را به خود اختصاص داد (جدول ۶).

به نظر می‌رسد رقم شتردندان به علت دیررسی تا زمانی که شرایط مساعد بوده است انرژی خود را صرف رشد رویشی کرده است اما شروع دوره رشد زایشی آن مصادف با خشکی و گرمای انتهای فصل رشد بوده است، به همین دلیل وزن هزاردانه و عملکرد اقتصادی در آن خیلی کم می‌باشد که در نهایت شاخص برداشت آن به کمترین مقدار رسیده است. ژنوتیپ‌های گروه دوم نیز که کمترین مقدار میانگین را برای دوره‌های فنولوژیک

داشته‌اند از استراتژی فرار استفاده کرده‌اند لذا فرصت کافی برای پر کردن دانه‌های تولید شده نداشته‌اند. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط آزمایش حاضر علاوه بر رشد رویشی مناسب، با شروع به موقع دوره زایشی از برخورد این دوره با تنش خشکی و گرمایی انتهای فصل اجتناب کرده‌اند در نهایت عملکرد بیشتری تولید کرده‌اند.

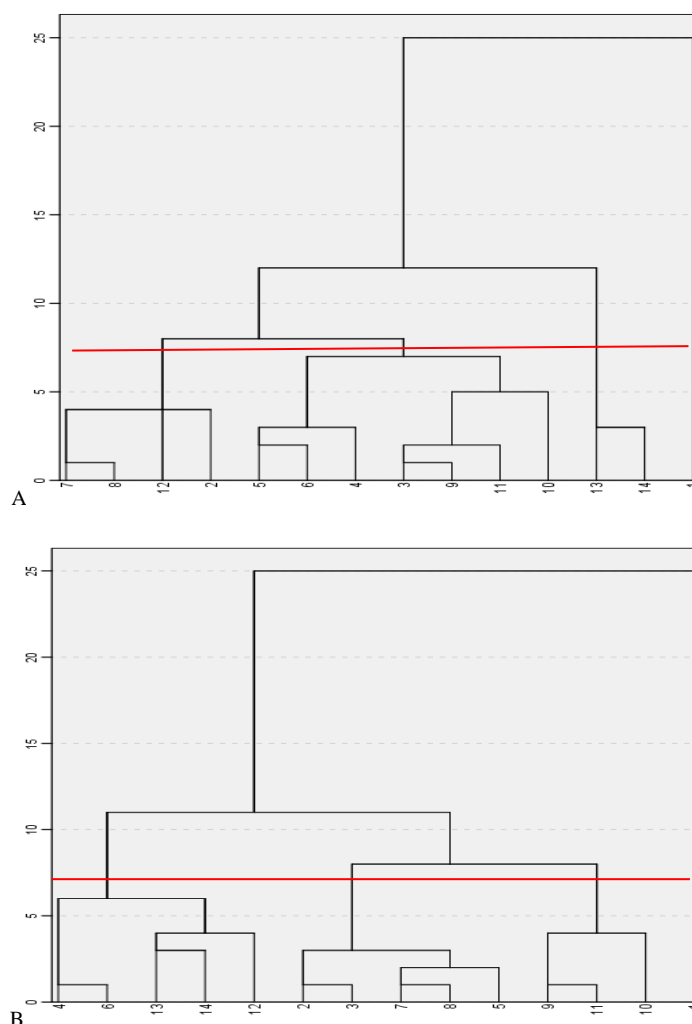
پس از انجام تجزیه خوشه‌ای خط برش در نظر گرفته شده ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش به ۳ گروه اصلی تقسیم کرد (شکل ۲B). در گروه اول ژنوتیپ IDYN35 و ارقام کرخه، سیروان، چمران ۲ و مهرگان قرار گرفتند که این ژنوتیپ‌ها دارای انحراف از میانگین منفی برای صفات ارتفاع، طول پدانکل، طول میانگره، طول دانه، عرض دانه، تعداد سنبله‌چه در سنبله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد و صفات فنولوژیک شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک و انحراف از میانگین مثبت برای صفات طول سنبله، تعداد بوته، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی بودند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این گروه دارای بیشترین مقدار میانگین برای صفات تعداد بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی بودند. در مجموع ژنوتیپ‌های این گروه، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا بودند. این ژنوتیپ‌ها با تولید تعداد بوته بیشتر، تعداد دانه بیشتری نیز تولید کرده‌اند که در نهایت باعث افزایش عملکرد اقتصادی آن‌ها شده است.

ژنوتیپ‌های IDYN19، IDYN20، IDSN\_2 و ارقام بهرنگ، دنا، آریا، شبرنگ و هانا در گروه دوم قرار گرفتند که دارای انحراف از میانگین مثبت برای صفات تعداد بوته، وزن هزاردانه، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، عرض دانه، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد و تعداد روز تا ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیک بودند. ژنوتیپ‌های موجود در این گروه برای صفات وزن هزاردانه، شاخص برداشت، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد بیشترین مقدار میانگین را داشتند. این ژنوتیپ‌ها با داشتن فرصت کافی برای پر کردن دانه و بهره‌گیری از پدیده انتقال مجدد، توانسته‌اند وزن هزار دانه خود را افزایش دهند و دانه‌های درشت‌تری تولید کنند. ژنوتیپ‌های این گروه، ژنوتیپ‌های دانه درشت بودند.

رقم شتردندان به تنهایی در گروه سوم قرار گرفت. این

انتقال مجدد، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت مربوط به رقم شترندندان بود. این ژنوتیپ به علت دیررسی در شروع دوره زایشی با تنش شدید مواجه شده است و به علت عدم قدرت و کارایی انتقال مجدد نتوانسته است از مواد ذخیره شده در لندام‌های رویشی برای پر کردن تعداد محدود دانه‌های تولید شده استفاده کند لذا وزن هزار دانه و عملکرد آن به شدت کاهش یافته است. می‌توان گفت رقم شترندندان، ژنوتیپ دیررس بود (جدول ۶).

ژنوتیپ دارای انحراف از میانگین مثبت برای تمام صفات غیر از تعداد بوته، تعداد سنبلیچه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد بود. بیشترین مقدار میانگین برای صفت ارتفاع، طول سنبله، تعداد سنبلیچه در سنبله، طول پدانکل، طول میانگره، طول و عرض دانه و صفات فنولوژیک شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک و کمترین مقدار میانگین برای صفات تعداد بوته، وزن هزاردانه، انتقال مجدد و کارایی



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم دوروم و نان بر اساس صفات مختلف در شرایط آبیاری کامل (A) و تنش خشکی انتهای فصل (B)

**Figure 1- Dendrogram obtained from cluster analysis of durum and bread wheat genotypes based on different traits under full irrigation and terminal drought stress conditions (1.Shotordandan, 2.IDSN-2, 3.IDYN-20, 4.IDYN-35, 5.IDYN-19, 6.Karkheh, 7.Behrang, 8.Dena, 9.Aria, 10.Shabarang, 11.Hana, 12.Sirvan, 13.Chamran 2 and 14.Mehregan)**

دو سال زراعی در شش گروه طبقه‌بندی شدند که لاین‌های قرار گرفته در گروه اول بیشترین مقدار عملکرد دانه را دارا بودند

در پژوهشی بر اساس تجزیه خوشه‌ای ۱۵۴ لاین گندم دوروم را در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی آخر فصل در

(Ahmadi et al., 2020).

شده از مناطق مختلف ایتوپی همراه با ۱۹ رقم معرفی شده با استفاده از صفات اگرومورفولوژیکی انجام شد، نمونه‌ها براساس صفات اندازه‌گیری شده و با استفاده از داده‌های استاندارد شده در ۷ گروه دسته‌بندی شدند. گروه سوم دارای بیشترین مقدار برای وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بود (Wondifaw et al., 2020).

در آزمایشی که به منظور ارزیابی ۱۰۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط آبیاری و تنش خشکی انجام شد، بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو شرایط در چهار گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه دوم در شرایط بدون تنش و گروه سوم شرایط تنش دارای بهترین میانگین عملکرد دانه بودند (Bihamta et al., 2018).

در آزمایشی ۱۷ گونه بومی گندم دوروم همراه با پنج رقم شاهد با استفاده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات اگرومورفولوژیک و وجود رنگ‌دانه روی قسمت‌های مختلف گیاه در چهار گروه طبقه‌بندی شدند. محققین این پژوهش استفاده از ژنوتیپ گروه اول را برای بهبود روز تا گلدهی و غلاف برگ به عنوان نشانگر، ژنوتیپ‌های گروه دوم را برای بهبود عملکرد دانه با رنگ برگ به عنوان نشانگر، ژنوتیپ‌های گروه سوم را برای بهبود صفات تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله همراه با رنگ کلئوپتیل به عنوان نشانگر و ژنوتیپ‌های گروه چهارم را برای تعداد پنجه و طول دلنه همراه با رنگ میانگره به عنوان نشانگر در برنامه‌های اصلاحی و دورگ‌گیری پیشنهاد کردند (Al Lawati et al., 2021). در یک مطالعه که به منظور بررسی تنوع ژنتیکی ۱۴۱ رقم بومی گندم دوروم جمع‌آوری

جدول ۶- میانگین و درصد انحراف از میانگین کل هر گروه از ژنوتیپ‌های گندم دوروم در تجزیه خوشه‌ای در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهای فصل

Table 6- Mean and percentage deviation from the total mean of each group of durum wheat genotypes in cluster analysis in full irrigation and terminal drought stress conditions

شرایط	خوشه	تعداد ژنوتیپ	ارتفاع	طول سنبله	طول پدانکل	طول میانگره	طول دانه	عرض دانه	روز تا ظهور سنبله	روز تا گرده‌افشانی	روز تا رسیدگی	
Condition	Cluster	No. genotype	Height	Spike length	Peduncle length	Internode length	Grain length	Grain length	Day to heading	Day to pollination	Day to maturity	
آبیاری کامل Full irrigation	1	11	82.11	6.54	35.31	13.77	2.09	0.75	96.87	101.24	134.42	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			-2.97	-8.54	-2.15	-3.28	-1.36	-1.22	-0.03	-1.06	-0.58
	2	2	84.16	8.64	32.27	15.29	1.98	0.71	91.75	100.58	130.91	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			-0.56	20.75	-10.57	7.34	-6.50	-6.37	-5.33	-1.71	-3.17
	3	1	113.33	10.91	52.3	17.29	2.71	0.96	107.6	117.83	152.5	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			33.89	52.49	44.91	21.43	28.05	2.216	11.09	15.14	12.78
	میانگین کل			84.63	7.15	36.08	14.24	2.12	0.76	96.91	102.33	135.21
تنش خشکی انتهای فصل Terminal drought stress	1	5	79.32	7.49	32.79	13.9	1.58	0.65	94.53	100.06	120.93	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			-1.42	5.88	-8.06	-1.1	-7.44	-6	-2.15	-2.48	-4.17
	2	8	77.49	6.37	35.43	13.76	1.73	0.69	96.70	102.2	126.9	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			-3.69	-10.01	-0.65	-2.08	1.65	-0.08	0.09	-0.4	0.56
	3	1	109.99	10.66	51.92	17.17	2.11	0.91	106.33	118.66	146.83	
	انحراف از میانگین کل											
	Deviation of total mean			36.68	50.66	45.57	22.21	23.98	30.64	10.05	15.63	16.34
	میانگین کل			80.47	7.07	35.67	14.05	1.70	0.70	96.61	102.61	126.2

ادامه جدول ۶

Table 6 Continued

شرایط Condition	خوشه Cluster	تعداد ژنوتیپ No. genotype	تعداد بوته No. plant	تعداد سنبله در سنبله Spiklet.Spike <sup>1</sup>	تعداد دانه در سنبله Grain. Spike <sup>-1</sup>	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی انتقال مجدد Retransmit Retransmit efficiency	عملکرد اقتصادی Economical yield	
	1	11	306.67	15.94	43.66	40.35	12.03	38.74	13.41	5.92	4.62
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		0.10	-3.95	-0.07	2.8	-0.001	6.32	2.77	2.38	6.10
آبیاری کامل Full irrigation	2	2	379.69	16.49	44.95	33.98	12.15	34.08	11.30	5.09	4.14
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		23.94	-0.65	2.86	-13.42	1	-6.44	-13.34	-11.95	-4.92
	3	1	156	24.03	41.53	37.68	11.79	15.78	12.54	5.64	1.85
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		-49.07	44.76	-4.95	-3.98	-2	-56.68	-3.87	-2.35	-57.34
	میانگین کل Total mean		306.34	16.6	43.69	39.25	12.03	36.43	13.04	5.78	4.35
تنش خشکی انتهای فصل Terminal drought stress	1	5	317.9	15.9	37.8	26.6	9.3	31.4	32.2	29.6	2.9
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		4.6	-2.1	4.2	-1.8	10.1	-2.5	-7.8	-6.1	8.4
	2	8	311.4	15.6	35.7	27.9	7.9	35.5	37.0	33.0	2.8
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		2.5	-4.4	-1.7	3.03	-6.4	10.1	6.2	4.8	3.2
	3	1	174	23.7	33.5	22.9	8.5	10.2	31.3	28.9	0.86
	انحراف از میانگین کل Deviation of total mean		-42.7	45.9	-7.6	-15.2	0.9	-68.4	-10.4	-8.3	67.8
	میانگین کل Total mean		303.9	16.3	36.3	27.0	8.4	32.2	34.9	31.5	2.7

## نتیجه گیری کلی

داشتند و بیشترین اثر مستقیم مربوط به اثر مستقیم شاخص برداشت بر عملکرد اقتصادی بود. بر اساس نتایج تجزیه عاملی در شرایط آبیاری کامل، چهار عامل اول ۸۸/۲۰ درصد از واریانس بین صفات و در شرایط تنش نیز چهار عامل ۸۸/۷۲ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کردند. نتایج تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط آبیاری کامل و تنش، ژنوتیپ‌ها را در سه گروه طبقه‌بندی کرد. با توجه به پژوهش انجام شده لاین IDYN-19 در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش، عملکرد بالایی داشت و لاین IDYN-35 نیز تحمل به تنش خشکی بالایی داشت. پیشنهاد می‌شود ضمن استفاده از این لاین‌ها در برنامه به نژادی، سازگاری و پایداری این لاین‌ها در آزمایشات مربوطه مورد بررسی قرار گیرد.

بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر متقابل ژنوتیپ و سال تنها برای صفت طول سنبله معنی‌دار بود. همبستگی مثبت عملکرد اقتصادی با تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت و وزن هزار دانه نشان دهنده تاثیر اجزای عملکرد بر عملکرد اقتصادی بود. همچنین همبستگی بالای صفات فنولوژیک با یکدیگر و همبستگی منفی آن‌ها با عملکرد اقتصادی نشان دهنده اهمیت زودرسی و فرار از تنش در شرایط آزمایش حاضر بود. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام در شرایط آبیاری کامل، تنها صفت ارتفاع بوته و در شرایط تنش دو متغیر شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک به عنوان متغیرهای مؤثر بر عملکرد اقتصادی تعیین شدند که هر دو صفت شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک اثر مستقیم و مثبت بالایی بر عملکرد اقتصادی

## References

- Ahmadi, Gh.H., Seiosemarde, A., Sohrabi, Y. and Jalal Kamali, M.R., 2020. Relationship between developmental traits and grain yield in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under terminal drought stress condition. *Applied Fields Crops Research*, 33(4), pp.84–99. [In Persian].

- Al Lawati, A.H., Nadaf, S.K., AlSaady, N.A., Al Hinai, S.A., Almamari, A., Al Adawi, M.H., Al Hinai, R.S. and Al Maawali, A., 2021. Genetic diversity of Omani durum wheat (*Triticum turgidum* sub sp. *durum*) landraces. *The Open Agriculture Journal*, 15(21), pp.21–32. <https://doi.org/10.2174/1874331502115010021>
- Bakhtiyar, F., Ghazvini, H.A. and Aghaei Sarbazeh, M., 2021. Evaluation of variability of agronomic and morphological traits in doubled haploid wheat lines using multivariate statistical methods. *Applied Fields Crops Research*, 34(1), pp.71–92. [In Persian].
- Bihamta, M.R., Shirkavand, M., Hasanpour, J. and Afzalifar, A., 2018. Evaluation of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 9(24), pp.119–136. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.119>
- CIMMYT., 2019. *Wheat in developing world*. International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT, MX.
- Cox, M.C., Qualset, C.O. and Rains, D.W., 1990. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III: nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop Science*, 26, pp.737–740. <https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183x002600040022x>
- Donald, C.M. and Hamblin, J., 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28, pp.361–405. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)60559-3](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60559-3)
- Enghiad, A., Ufer, D., Countryman, A. and Thilmany, D., 2017. An overview of global wheat market fundamentals in an era of climate concerns. *International Journal of Agronomy*, 19, pp.1–15. <https://doi.org/10.1155/2017/3931897>
- FAOSTAT., 2018. <http://faostat3.fao.org/download/q/qc/e>
- Farshadfar, E., 2005. *Principles of multivariate statistical methods* (2nd ed.). Kermanshah: Taq Bostan Publications. [In Persian].
- Golabadi, M., Arzani, A. and Mir Mohammadi Meibodi, S.A.M., 2018. Genetic analysis of some morphological traits in durum wheat by generation mean analysis under normal and drought stress conditions. *Seed and Plant Journal*, 24(1), pp.99–116. [In Persian].
- Hamzeh, H., Asghari, A., Mohammadi, S.A., Sofalian, O. and Mohammadi, S., 2018. Effect of variations of phenological traits and phenological and photosynthetic materials allocation on grain yield of bread wheat under different moisture conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(4), pp.989–1002. [In Persian].
- Hay, R.K.M., 1995. Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, 126, pp.197–216. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05015.x>
- Heidarinezhad, H., Esmaeili, A., Hosseinpour, T. and Eisvand, H.R., 2018. Factor analysis genetic correlation and path analysis of different traits in durum wheat genotypes. *Plant Ecophysiology*, 10(33), pp.117–126. [In Persian].

- Kirigwi, F.M., Van Ginkel, M., Brown-Guedira, G., Gill, B.S., Paulsen, G.M. and Fritz, A.K., 2007. Markers associated with a QTL for grain yield in wheat under drought. *Molecular Breeding*, 20, pp.401–413. <https://doi.org/10.1007/s11032-007-9100-3>
- Martínez-Moreno, F., Ammar, K. and Solís, I., 2022. Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: A historical review. *Agronomy*, 12, pp.1135–1139. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051135>
- Mwadingeni, L., Shimelis, H., Tesfay, S. and Tsilo, T.J., 2016. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. *Frontiers in Plant Science*, 7, pp.1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01276>
- Najafi Mirak, T., Aghaei Sarbarzeh, M., Moayedi, A., Kafashi, A. and Sayah Far, M., 2021. Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), pp.17–28. [In Persian].
- Papakosta, D.K. and Gayians, A.A., 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 83, pp.864–870. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050018x>
- Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N. and Poczai, P., 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12, pp.5610–5620. [In Persian]. <https://doi.org/10.3390/su12145610>
- Richard, C.A., Hickey, L.T., Fletcher, S., Jennings, R., Chenu, K. and Christopher, J.T., 2015. High-throughput phenotyping of seminal root traits in wheat. *Plant Methods*, 11, pp.1–11. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0055-9>
- Sadegh Ghol Moghadam, R., Saba, J., Shekari, F. and Roustaii, M., 2020. Study of relationships between root traits and yield and yield components of bread wheat under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), pp.136–150. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.12.36.136>
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H.M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V.V. and Nayyar, H., 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp.1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B.S., Singh, G., Chatrath, R. and Singh, G.P., 2019. Genotype × environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19, pp.309–318. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43>
- Tidiane Sall, A., Chiari, T., Legesse, W., Seid-Ahmed, K., Ortiz, R., Van Ginkel, M. and Bassi, F.M., 2020. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): Origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 9, pp.263–272. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050263>

- Tosimojarad, M., Ghanadha, M., Khodarahmi, M. and Shahabi, S., 2005. Factor analysis for grain yield and other characteristics. *Research and construction*, 67, pp.9-16. [In Persian].
- Wang, J., Vanga, S.K., Saxena, R., Orsat, V. and Raghavan, V., 2018. Effect of climate change on the yield of cereal crops: A review. *Climate*, 6, pp.41-48. <https://doi.org/10.3390/cli6020041>
- Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q. and Yan, Z., 2018. Root phenotyping for drought tolerance: A review. *Agronomy*, 8, pp.241-260. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110241>
- Wondifaw, M.A., Keneni, G. and Tesfay, K., 2020. Genetic diversity of Ethiopian durum wheat (*Triticum durum* Desf) landrace collections as revealed by morphological markers. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 12(4), pp.258-268. <https://doi.org/10.5897/jpbcs2020.0873>
- Xynias, I.N., Mylonas, I., Korpetis, E.G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I.D. and Mavromatis, A.G., 2020. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*, 10(3), pp.1-27. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030432>