University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 3, pp. 425-439 (Fall 2024)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2022.5443.2149

Original article

Use of multivariate analysis to determine the effective traits on wheat grain yield under rainfed conditions

H. Nazari[1], M. Rostaii[2], S.M. Alavi-Siney[3*]

1. *Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran*
2. *Dry Land Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran*
3. *Crop and Horticultural Science Research Department, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran*

Received 4 July 2022; Accepted 31 August 2022

Extended abstract

Introduction

Drought is one of the major limitation on food production worldwide (Hu et al., 2020), which is a growing problem caused by an increasing world population. In wheat cultivation in the Mediterranean climate, mainly the stages of flowering and grain filling are exposed with drought stress. Drought stress reduces the yield of wheat in all growth stages, but its negative effect on grain yield is very severe in the stages of flowering and grain filling. Terminal drought and moisture stress are the main factors of wheat yield reduction under rainfed condition compared to irrigation conditions in Iran. Therefore, one solution to increase the yield is the breeding under drought stress conditions. Due to the low heritability of yield and the complex mechanisms of drought tolerance, little progress has been made in wheat grain yield under drought conditions. Therefore, the grain yield of wheat should be improved indirectly through improving the traits that greatly affect grain yield. Therefore, it seems necessary to identify the quantity and quality of relationships between different traits and grain yield under rainfed conditions. The use of multivariate statistical methods such as path analysis and canonical correlation analysis can help to identify important and effective traits in determining seed yield. This research was carried out with the aim of finding effective agronomical traits on yield and investigating the relationship between these traits and physiological traits under rainfed conditions.

Materials and methods

In order to determine the effective trait on wheat grain yield under rainfed conditions and investigate the relationship between agronomic and physiological traits, an experiment was conducted with 21 lines along with Baran, Hashtroud and Sardari cultivars as control in the form of a randomized complete blocks design in four replications during two years at Khodabande Rainfed Research Station. Plant height (PLH), Day to Heading (DHE), Day to physiological maturity (DMA) at the same time as peduncle yellowing, 1000 grain weight and yield after physiological maturity were measured. To determine the variability between the studied genotypes, descriptive parameters and compound variance analysis were performed based on the expected of mean square, the effects of year and replication was randomly considered and the effect of genotype as a fixed effect using SAS (9.4) software. Simple correlation

* Corresponding author: Seid Mohammad Alavi-Siney; E-Mail: M.alavis@areeo.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

analysis, path analysis and canonical correlation analysis were used to determine the relationship between traits and to determine effective traits.

Results and discussion
ANOVA showed significant difference between genotypes in terms of all studied traits. Simple correlation analysis showed 19 significant correlation and other correlation were not significant. There is a positive and significant correlation between grain yield and Photosynthesis rate, height and 1000-grain weight, but the relationship between day to heading and grain yield was negative and significant. Path analysis revealed that day-to-heading and day-to-maturity traits with -1.05 and 0.84 had the most direct and negative direct effects on grain yield, respectively. Canonical correlation analysis also showed a significant canonical correlation (r = 0.74) between the set of physiological traits and agronomic traits. According to the results of this study, it was found that agronomic traits of day to heading, day to maturity and height are effective in determining grain yield under dryland conditions.

Conclusion
The investigation of the relationship between traits also showed that selection for physiological traits such as transpiration rate and lower stomatal conductance led to selection of genotypes with high height, low day to heading and shorter growth period and finally higher yield under rainfed conditions.Therefore, genotypes with shorter growth periods that can escape terminal-season stresses and lose less water by closing stomata are suitable for high yields under rainfed conditions.

Keywords: Agronomical traits, Canonical correlation analysis, Path analysis, Physiological traits

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22077/ESCS.2022.5443.2149

مقاله پژوهشی

تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم نان در شرایط دیم با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره

حسین نظری[۱]، مظفر روستایی[۲]، سید محمد علوی سینی[۳*]

۱. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۲. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
۳. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تجزیه همبستگی کانونی
تجزیه علیت
صفات زراعی
صفات فیزیولوژیک

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۶/۰۹

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۳

۱۷(۳): ۴۲۵-۴۳۹

چکیده

به‌منظور بررسی ارتباط بین خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم پژوهشی با ۲۴ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ تحت شرایط دیم در ایستگاه تحقیقات دیم خدابنده مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان انجام شد. صفات سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه طی دوره رشد مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس نشان داد بین ژنوتیپ‌ها ازلحاظ تمامی صفات موردمطالعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تجزیه همبستگی ساده ۱۹ رابطه معنی‌دار نشان داد و سایر روابط معنی‌دار نبودند. سرعت فتوسنتز، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند اما ارتباط روز تا سنبله‌دهی با عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود. تجزیه علیت آشکار کرد که صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی با مقادیر ۱/۰۵- و ۰/۸۴ به ترتیب بیشترین اثر مستقیم منفی و مثبت را بر عملکرد دانه داشتند. تجزیه همبستگی کانونی نیز بین متغیرهای صفات فیزیولوژیک و صفات زراعی یک همبستگی کانونی معنی‌دار (r=۰/۷۴) نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش مشخص شد که صفات زراعی روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته صفات تأثیرگذار در تعیین عملکرد دانه تحت شرایط دیم می‌باشند. بررسی ارتباط صفات نیز نشان داد تحت شرایط دیم گزینش برای صفات فیزیولوژیک از قبیل سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای کمتر منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با ارتفاع بالا، روز تا سنبله‌دهی و دوره رشد کوتاه‌تر و درنهایت عملکرد بالاتر می‌شود؛ بنابراین ژنوتیپ‌های با دوره رشد کوتاه‌تر که بتوانند از تنش‌های انتهایی فرار کنند و تحت شرایط دیم با بستن روزنه‌ها، آب کمتری هدر دهند برای حصول عملکرد بالا تحت شرایط دیم مناسب می‌باشند.

مقدمه

خشکی یکی از محدودیت‌های مهم تولید غذا در سرتاسر جهان است (Lamaoui et al., 2018; Hu et al., 2020) که این مشکل با افزایش جمعیت جهان اهمیت بیشتری پیدا کرده است. تولید سالیانه ۱۳/۷ میلیون تن گندم از سطح زیرکشت ۵/۸ میلیون هکتار در ایران نشان‌دهنده اهمیت گندم است که از این سطح ۶۷ درصد به کشت دیم و مابقی به کشت آبی اختصاص دارد. متوسط عملکرد گندم دیم در ایران حدود ۱/۴ تن در هکتار است. سطح زیرکشت، میزان تولید و متوسط عملکرد گندم دیم در استان زنجان به ترتیب ۲۸۹ هزار هکتار، ۳۵۷ هزار تن و ۱۲۳۰ کیلوگرم در هکتار است (MAJ, 2021).

* نگارنده پاسخگو: سید محمد علوی سینی. پست الکترونیک: M.alavis@areeo.ac.ir

در آب‌وهوای مدیترانه‌ای مراحل گلدهی و دوره پر شدن دانه گندم عمدتاً با تنش خشکی مواجه می‌شود (Blum, 1998; Reynolds et al., 2005). تنش خشکی عملکرد دانه گندم را در تمام مراحل رشد کاهش می‌دهد اما اثر منفی آن بر عملکرد دانه در مراحل گلدهی و پر شدن دانه شدیدتر است (Farooq et al., 2014). نجفیان و همکاران (Najafian et al., 2010) گزارش کردند که در ایران تنش خشکی شدید عامل عمده کاهش عملکرد گندم تحت شرایط دیم نسبت به شرایط آبی است؛ بنابراین یک راه‌حل برای افزایش عملکرد، اصلاح تحت شرایط تنش خشکی است (Passioura, 2006). با توجه به وراثت‌پذیری پایین عملکرد و سازوکارهای پیچیده تحمل خشکی پیشرفت کمی در عملکرد دانه گندم تحت شرایط خشکی حاصل شده است. ازاین‌رو، عملکرد دانه گندم باید به‌طور غیرمستقیم از طریق اصلاح صفاتی که عملکرد دانه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند بهبود داده شود (Akram et al., 2008)؛ بنابراین شناسایی کمیت و کیفیت روابط بین صفات مختلف و عملکرد دانه تحت شرایط دیم ضروری به نظر می‌رسد (Villegas et al., 2007). به این منظور در مرحله اول باید صفاتی که باعث کاهش خسارت به گیاهان زراعی از طریق تنش خشکی می‌شوند را شناسایی و در مرحله بعد نقش هر صفت در تحمل خشکی را ارزیابی نمود. در این راستا صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک دارای تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و همچنین همبستگی بالا با عملکرد دانه را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های گزینش به کار گرفت (Lonbani and Arzani, 2011).

برآورد ضریب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و اجزای آن برای درک اهمیت این اجزا در تعیین عملکرد دانه کافی به نظر نمی‌رسد (Ali and Shakor, 2012). یک همبستگی بالا می‌تواند ناشی از تأثیر سایر صفات دیگر باشد بنابراین کمی کردن و تفسیر ناقص این همبستگی‌ها تواند منجر به گزینش‌های نادرست می‌گردد (Cruz and Regazzi, 1997). در این مورد، به‌کارگیری تجزیه علیت درک بهتری از روابط بین صفات فراهم می‌کند. با این روش، همبستگی عملکرد و صفات مؤثر می‌تواند به اثرات مستقیم و غیرمستقیم شکسته شده که به طراحی صحیح برنامه‌های اصلاحی کمک نماید (Ali and Shakor, 2012).

تجزیه همبستگی کانونی روشی مهم دیگر برای بهبود درک از روابط بین صفات است (Dunteman, 1984). این تکنیک همبستگی بین دو مجموعه از صفات را شناسایی و کمی می‌کند (Lorenceti et al., 2006). تجزیه همبستگی کانونی یک تکنیک چند متغیره است برخی از این محدودیت‌ها را برطرف می‌کند. این تجزیه ارتباط بین دو گروه از متغیرها را از طریق برآورد همبستگی بین ترکیبات خطی یک گروه با ترکیبات خطی گروه دوم برآورد می‌کند. این تجزیه می‌تواند به‌عنوان روشی که روابط چندگانه را در تعداد کمی رابطه معنی‌دار گرد هم آورد، به‌حساب آید (Johnson and Wichern, 2002). پژوهش‌گران از این تکنیک برای بررسی ارتباط بین مجموعه صفات استفاده کرده‌اند. در مطالعه صبا و همکاران (Saba et al., 2018) ارزیابی متغیرهای کانونی برای عملکرد و صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل نشان داد که افزایش زیست‌توده و کاهش دمای کانوپی منجر به افزایش تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه و درنهایت عملکرد دانه می شود. کوروبوف و رایلیان (Korobov and Railyan, 1993) از همبستگی کانونی برای یافتن ارتباط بین خصوصیات گندم و انعکاس باندهای طیفی مختلف که از راه دور کنترل می‌شود استفاده کردند. علوی سینی و صبا (Alavi-Siney and Saba, 2014) همبستگی بالایی بین صفات فیزیولوژیک و زراعی گزارش کردند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بیان کردند که گزینش برای صفات ارتفاع کم، درصد ماده خشک برگ کم‌تر، درصد ماده خشک ساقه و سنبله، طول سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد بیش‌تر منجر به گزینش صفات فیزیولوژیک برتر از قبیل شاخص محتوای کلروفیل، سطح برگ، محتوای نسبی آب و کارایی مصرف آب بالا و هدایت روزنه‌ای کمتر در شرایط دیم می‌شود. محققین دیگر نیز با استفاده از تکنیک همبستگی کانونی گزارش کردند که گزینش برای صفات فیزیولوژیک برتر از قبیل سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی بالا منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با ارتفاع بالا، روز تا سنبله‌دهی پایین و درنهایت عملکرد بالاتر می‌شود؛ بنابراین ژنوتیپ‌های با دوره رشدی کوتاه‌تر که بتوانند از تنش‌های انتهایی فرار کنند برای حصول عملکرد بالا تحت شرایط دیم مناسب می‌باشند (Nazari et al., 2022). با توجه به اینکه عملکرد صفتی کمی است به‌شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات ثانویه مؤثر بر عملکرد تحت این شرایط می‌تواند کمک شایانی به این موضوع نماید. این پژوهش با هدف یافتن صفات زراعی مؤثر بر عملکرد

و بررسی ارتباط این صفات با صفات فیزیولوژیک تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط دیم و بررسی ارتباط صفات زراعی و فیزیولوژیک آزمایشی با ۲۱ لاین به همراه ارقام شاهد باران، هشترود و سرداری (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸) در ایستگاه تحقیقات دیم خدابنده مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان (طول جغرافیایی ′۴۹ °۴۸، عرض جغرافیایی ′۱۳ °۳۶ و ارتفاع ۱۸۷۵ متر از سطح دریا) انجام شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به طول هفت متر و فاصله ۱۷ سانتی‌متر بود. میزان بذر مصرفی بر اساس تراکم ۳۸۰ دانه در مترمربع بود که با توجه به وزن هزار دانه هر رقم محاسبه و بذرها روی ردیف‌ها با عمق ۵ سانتی‌متر کشت شدند.

قطعه زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل به‌صورت آیش بوده و عملیات تهیه بستر مطابق دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انجام گرفت. نیتروژن موردنیاز بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره با نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد به ترتیب در پاییز و بهار (سرک) مصرف شد.

بر اساس نتایج آزمون خاک نیازی به مصرف کود فسفره نبود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه بعد از نمونه-برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۱. ژنوتیپ‌های گندم مورداستفاده در آزمایش

Table 1. Used wheat genotypes in current study

ژنوتیپ Genotype	شجره، منشأ و تاریخچه گزینش Pedigree, origin and selection history
G1	Baran
G2	Hashtrood
G3	Sardari
G4	ALTAY//JUN/BOMB IRW 05-06-36-OMAR-OMAR_0MAR
G5	ALTAY//JUN/BOMB IRW 05-06-36-OMAR-OMAR_0MAR
G6	PAVON (dwarf)/KAUZ (tall) IRW 05-06-84-OMAR-OMAR_0MAR
G7	CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA/4/CHEN/ AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN /3/VEE#7/… IRW 05-06-221-OMAR-OMAR_0MAR
G8	ZARGANA-3//JUN/BOMB IRW 05-06-333-OMAR-OMAR_0MAR
G9	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR
G10	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR
G11	SERI 82/SHUHA'S'//GRU90-204782/3/SARDARI/KAU"s"/NAO IRW 05-06-210-OMAR-OMAR_0MAR
G12	ALTAY/GAHAR IRW 05-06-41-OMAR-OMAR_0MAR
G13	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/ 6/PELSART /3/DONG87//TJB368.251/BUC/4/RSK/NAC IRW 05-06-138-OMAR-OMAR_0MAR
G14	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/ 6/PELSART /3/DONG87//TJB368.251/BUC/4/RSK/NAC IRW 05-06-138-OMAR-OMAR_0MAR
G15	P8-8/LLFN/3/BEZ/NAD//KZM/4/BB//CC/CNO*2/3/TOB156/BB/5/ PF8215/6/F134.71/NAC/7/SARDARI-HR86 IRW 05-06-355-OMAR-OMAR_0MAR
G16	GAHAR/3/SKAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_0MAR
G17	GAHAR/3/SKAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_0MAR
G18	KOHDASHT//37032 TURKEY/DARI-8 IRW 05-06-149-OMAR-OMAR_0MAR
G19	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_0MAR
G20	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_0MAR
G21	Azar-2/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-20 IRBW07-23-54-20-0SAR-0SAR_0MAR
G22	Sardari/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-36 IRBW07-23-54-36-0SAR-0SAR_0MAR
G23	15Iran-sa2014-15-9
G24	15Iran-sa2014-15-9

جدول ۲. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده

Table 2 Results of physical and chemical analysis for used soil

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	فسفر P	پتاسیم K	کربن آلی O.C	مواد خنثی شونده P.N.V.	هدایت الکتریکی EC	عمق Depth	بافت خاک Soil texture
----------%----------			---------ppm--------		----------%----------		$ds\ m^{-1}$	cm	
40	42	18	18.60	453	0.69	5.4	0.692	0-30	لومی- رسی-سیلتی

در این آزمایش پنج صفت زراعی و پنج صفت فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. صفات زراعی شامل ارتفاع بوته (PLH)، زمان از ۱۰ دی تا ۵۰ درصد ظهور سنبله (DHE)، رسیدن فیزیولوژیک دانه‌ها (DMA) (زرد شدن پدانکل)، وزن هزار دانه و عملکرد دانه (Yield) بودند.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، برای تعیین وزن هزار دانه، ۱۰ ساقه اصلی از هر کرت انتخاب و دانه‌ها پس از جدا شدن با ترازوی دقیق توزین و وزن هزار دانه محاسبه گردید. عملکرد دانه نیز پس از رسیدن فیزیولوژیک با لحاظ نمودن اثر حاشیه از سطح شش مترمربع اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرو مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول H_2O بر مترمربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای (میکرو مول بر مول) از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون‌قرمز (IRGA, model: LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston, UK) استفاده شد. هدایت مزوفیلی نیز با تقسیم سرعت فتوسنتز بر غلظت CO_2 زیر روزنه (Ci) محاسبه شد.

تمامی اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ و در شدت نور ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه انجام شد (Yang et al., 2002). قبل از شروع اندازه‌گیری دستگاه به مدت ۱۰ دقیقه روشن شد تا گرم شود. برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به تبادلات گازی دو هفته بعد از گرده‌افشانی، سه برگ پرچم به‌طور تصادفی از هر کرت در اتاقک شیشه‌ای انبر دستگاه قرار داده شد. پس از ۳۰ ثانیه که شرایط درونی اتاقک به حالت ثبات رسید، داده‌های مربوطه ثبت شد (Pask et al., 2011).

برای تعیین تنوع موجود بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش پارامترهای توصیفی و تجزیه واریانس مرکب بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات با در نظر گرفتن اثرات سال و تکرار به‌صورت تصادفی و اثر ژنوتیپ به‌صورت ثابت (پس از بررسی یکنواختی واریانس‌های خطای آزمایش با استفاده از آزمون بارتلت) با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹,۴) انجام شد.

برای تعیین صفات زراعی مؤثر بر عملکرد دانه تجزیه رگرسیون چندگانه با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹,۴) انجام شد به‌طوری‌که عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و صفات ارتفاع بوته (PLH)، روز تا سنبله‌دهی (DHE)، روز تا رسیدن فیزیولوژیک دانه‌ها (DMA) و وزن هزار دانه به‌عنوان صفات مستقل در نظر گرفته شدند. گزینش متغیرها به روش گام‌به‌گام انجام و اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه تعیین و درنهایت دیاگرام علیت توسط نرم‌افزار Amos (۲۱) ترسیم شد.

برای تعیین ارتباط بین دو دسته صفات شامل صفات زراعی و فیزیولوژیک از تجزیه همبستگی کانونی استفاده شد. همبستگی کانونی از طریق ایجاد V به‌عنوان بردار p بعدی متغیرهای مستقل و W به‌عنوان بردار q بعدی متغیرهای وابسته حاصل می‌شود. هدف حصول یک ترکیب خطی از متغیرهای مستقل با حداکثر همبستگی با ترکیب خطی از متغیرهای وابسته به‌صورت ترکیب خطی ذیل است (Johnson and Wichern., 2002).

$$V= a'x= a1x1+a2x2+...+apxp \quad [۱]$$

$$W= b'y= b1y1+b2y2+...+bqyq \quad [۲]$$

در معادلات فوق V، ترکیب خطی مربوط به صفات فیزیولوژیک؛ W، ترکیب خطی مربوط به صفات زراعی؛ x، صفات فیزیولوژیک؛ y، صفات زراعی؛ و اندیس‌های p و q به ترتیب بیانگر تعداد صفات فیزیولوژیک و زراعی هستند.

درنهایت تجزیه همبستگی ساده و همبستگی کانونی بین صفات زراعی و فیزیولوژیک با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹,۴) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات موردمطالعه طی دو سال آزمایش نشان داد که اثر سال تنها برای صفات سرعت تعرق، روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود و برای صفات سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه و هدایت مزوفیلی بین دو سال آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اثر متقابل سال در ژنوتیپ در برای هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نشد. معنی‌دار نشدن اثر متقابل سال در ژنوتیپ بیانگر رفتار یکسان ژنوتیپ‌ها طی دو سال آزمایش است ازاین‌رو سایر تجزیه‌ها نیز بر اساس میانگین داده‌های دو سال آزمایش انجام شد. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ بر تمامی صفات موردمطالعه معنی‌دار بود (جدول ۳). این موضوع بیانگر وجود تنوع کافی بین ژنوتیپ‌ها ازلحاظ صفات موردبررسی است و به اصلاح‌گران این شانس را می‌دهد تا این صفات را از طریق روش‌های اصلاحی بهبود دهند (Alavi-Siney and Saba, 2015; Nazari et al., 2022). در گزینش فنوتیپی برای اهداف اصلاحی، میانگین، دامنه تغییرات و ضریب تغییرات پارامترهای باارزشی هستند

(Bayat et al., 2018; Alavi-Siney and Saba, 2021). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که صفات فیزیولوژیک نسبت به صفات مورفوفنولوژیک از تنوع بالاتری برخوردار بودند. در بین صفات فیزیولوژیک، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیر روزنه به ترتیب با مقادیر ۴۰/۳۴ و ۲۹/۰۲ درصد بیشترین و کمترین ضریب تغییرات را داشتند. در بین صفات زراعی نیز عملکرد دانه و روز تا سنبله‌دهی با ضرایب ۲۳/۴۸ و ۱/۴۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را دارا بودند (جدول ۴). صفات دارای ضریب تغییرات بالا نقش مهمی در تنوع ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی دارند. ملاحظه مقادیر حداقل و حداکثر صفات زراعی نشان می‌دهد که تنوع بالا و با ارزشی بین ژنوتیپ‌ها جهت گزینش از لحاظ این صفات وجود دارد. دامنه تغییرات ۱۱، ۱۵، ۵۰، ۲۴ و ۲۵۰۰ به ترتیب برای صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع، وزن هزار دانه و عملکرد دانه پتانسیل بالای این صفات را برای گزینش نشان می‌دهد (جدول ۴)؛ بنابراین تنوع کافی از لحاظ مجموعه صفات زراعی و هم مجموعه صفات فیزیولوژیک میان ژنوتیپ‌های موردمطالعه جهت استفاده در بهبود عملکرد دانه تحت شرایط دیم وجود دارد. صبا و همکاران (Saba et al., 2018) نیز این تنوع را بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه برای صفات زراعی گزارش کردند.

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات مورفو-فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم طی دو سال آزمایش

Table 3. Compound variance analysis of morpho-physiological traits in studied wheat genotypes during 2 years

S.O.V	منابع تغییر	df	A	T	SC	Ci	MC
Year (Y)	سال	1	11.06^{ns}	60.04^{**}	0.017^{ns}	13685.63^{ns}	0.001^{ns}
Error1	خطای ۱	6	3.62	3.54	0.004	12900.47	0.001
Genotype (G)	ژنوتیپ	23	42.16^{**}	20.03^{**}	0.008^{**}	9109.02^{**}	0.0004^{**}
Y × G	سال در ژنوتیپ	23	1.84^{ns}	1.02^{ns}	0.001^{ns}	553.26^{ns}	0.0001^{ns}
Error2	خطای ۲	138	2.18	1.34	0.002	1409.69	0.0001
CV(%)	ضریب تغییرات	-	*20.81*	*20.84*	*23.75*	*21.13*	*29.11*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	df	DHE	DMA	PLH	TGW	Yield
Year (Y)	سال	1	115.63^{**}	1989.19^{**}	5797.01^{**}	107.61^{**}	23590052^{**}
Error1	خطای ۱	6	2.71	3.95	56.55	27.86	388021
Genotype (G)	ژنوتیپ	23	19.09^{**}	17.83^{**}	132.83^{**}	71.33^{**}	215120^{**}
Y × G	سال در ژنوتیپ	23	8.84^{ns}	1.64^{ns}	16.17^{ns}	13.54^{ns}	67052^{ns}
Error2	خطای ۲	138	5.53	1.20	21.31	10.60	57353
CV(%)	ضریب تغییرات	-	*4.50*	*6.01*	*5.88*	*9.00*	*12.24*

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱

A: سرعت فتوسنتز، T: سرعت تعرق، SC: هدایت روزنه‌ای، Ci: غلظت Co2 زیر روزنه، MC: هدایت مزوفیلی DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ Yield: عملکرد دانه

ns, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively
A: Photosynthesis rate, T: Transpiration rate rate, Sc: Stomatal conductance, Ci: Intercellular CO2 concentration, MC: Mesophyll conductance, DHE: Days to heading; DMA: Days to maturity; PLH: Plant height; TGW: 1000 grain weight; Yield: Grain yield

از بین ۴۵ همبستگی موردمطالعه ۱۹ همبستگی معنی‌دار یافت شد و سایر روابط معنی‌دار نبودند (جدول ۵). بین صفات فیزیولوژیک تنها رابطه سرعت تعرق با غلظت CO_2 زیر روزنه و رابطه هدایت روزنه‌ای با صفات CO_2 زیر روزنه و هدایت مزوفیلی معنی‌دار نبود. سایر روابط بین صفات فیزیولوژیک معنی‌دار بودند. از موارد مهم که می‌توان به آن اشاره کرد عدم ارتباط صفت غلظت CO_2 زیر روزنه با هیچ‌یک از صفات زراعی و عدم ارتباط وزن هزار دانه با هیچ‌یک از صفات فیزیولوژیک است (جدول ۵). بررسی رابطه عملکرد دانه با کل صفات نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با سرعت فتوسنتز، ارتفاع و وزن هزار دانه وجود دارد ولی ارتباط روز تا سنبله‌دهی با عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود. ارتباط مثبت

و معنی‌دار سرعت فتوسنتز با عملکرد دانه تائید می‌کند ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در شرایط دیم ویژگی‌های فتوسنتزی خود را حفظ کنند برتری خود را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بروز خواهند داد. همچنین رابطه منفی و معنی‌دار صفت روز تا سنبله‌دهی با عملکرد دانه نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های که زودتر به سنبله بروند از تنش‌های انتهای فصل در شرایط دیم فرار کرده و با داشتن وزن هزار دانه بالاتر، عملکرد بیشتری تولید خواهند کرد. همبستگی ساده عملکرد دانه با سایر صفات معنی‌دار نبود (جدول ۵). در تجزیه همبستگی ساده تنها به بررسی ارتباط دو صفت پرداخته می‌شود و اثر سایر صفات بر رابطه دو صفت در نظر گرفته نمی‌شود، ممکن است اثر سایر صفات بر این رابطه معنی‌دار بوده و باعث گمراهی در نتیجه‌گیری شود (Lorenceti et al., 2006; Nazari et al., 2022). به همین دلیل روش‌های چندمتغیره برای بررسی ارتباط بین صفات توصیه می‌شود.

جدول ۴. آماره‌های توصیفی متغیرهای زراعی و فیزیولوژیک طی دو سال آزمایش

Table 4. Descriptive statistic of agronomical and physiological variable during two years of experiment

Physiological traits	صفات فیزیولوژیک	حداقل Min	حداکثر Max	دامنه تغییرات Rang	میانگین Mean	ضریب تغییرات فنوتیپی (درصد) Phenotypic coefficient of variation (%)
Photosynthesis rate	**سرعت فتوسنتز** (میکرو مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه)	2.1	11.2	9.1	7.09	37.41
Transpiration rate rate	**سرعت تعرق** (میلی مول H_2O بر مترمربع در ثانیه)	1.58	9.6	8.02	5.56	35.34
Stomatal conductance	**هدایت روزنه‌ای** (میلی مول بر مترمربع در ثانیه)	0.014	0.320	0.306	0.12	40.34
Intercellular CO_2 concentration	**غلظت CO_2 زیر روزنه** (میکرو مول بر مول)	73	272	199	177.67	29.02
Mesophyll conductance	**هدایت مزوفیلی** (میکرو مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه)	0.01	0.14	0.13	0.04	35.05
Agronomical traits	**صفات زراعی**					
Days to heading	**روز تا سنبله‌دهی**	146	157	11	149	1.40
Days to maturity	**روز تا رسیدگی**	173	188	15	182	2.12
Plant height	**ارتفاع بوته** (سانتی‌متر)	50	100	50	79	12
1000 grain weight	**وزن هزار دانه** (گرم)	22	46	24	36.17	12.15
Grain yield	**عملکرد دانه** (کیلوگرم در هکتار)	700	3200	2500	1956.56	23.48

برای درک رابطه بین صفات زراعی تجزیه علیت برای عملکرد دانه انجام شد (جدول ۶، شکل ۱). نتایج نشان داد بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه مربوط به صفت تعداد روز تا سنبله‌دهی (۱/۰۵-) است که همبستگی بالایی در بین صفات موردمطالعه با عملکرد داشت (۰/۵۱-). این موضوع نشان می‌دهد که این صفت به‌طور مستقیم بر روی عملکرد اثر می‌گذارد. بیشترین تأثیر غیرمستقیم آن از طریق صفت روز تا رسیدگی بود (۰/۷۳).

اثر مستقیم منفی نشان می‌دهد هرچه تعداد روز تا سنبله‌دهی کمتر باشد عملکرد افزایش پیدا می‌کند، بنابراین می‌توان از این صفت به‌عنوان یک معیار گزینشی در برنامه-های اصلاحی گندم استفاده کرد. اثر مستقیم روز تا رسیدگی بر عملکرد دانه مثبت بود (۰/۸۴) ولی تأثیر این صفت بر عملکرد دانه به‌صورت غیرمستقیم و قسمت اعظم آن از طریق تعداد روز تا سنبله‌دهی (۰/۹۱-) بود. این موضوع نشان می-دهد که هرچه طول دوره رشد طولانی‌تر باشد ولی ژنوتیپ‌ها سنبله‌دهی زودتر داشته باشند عملکرد بالاتری تولید خواهند کرد. صفات ارتفاع و وزن هزار دانه نیز به ترتیب با ۰/۳۷ و ۰/۱۷ دارای اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه بودند. صفات دارای اثر مثبت نشان می‌دهند که با افزایش در مقدار این

صفات می‌توان به افزایش در عملکرد دانه امیدوار بود. با توجه به نتایج می‌توان عنوان کرد که برای داشتن عملکرد بالا تحت شرایط دیم، ژنوتیپ‌های گندم بایستی تعداد روز تا سنبله‌دهی کمتر، روز تا رسیدگی، وزن هزار دانه و ارتفاع بالاتری داشته باشند. صبا و همکاران (Saba et al., 2018) با استفاده از تجزیه علیت گزارش کردند که صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته تأثیرگذارترین صفات در تعیین عملکرد دانه بودند. خدادادی و همکاران (Khodadadi et al., 2011) طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول خوشه و ارتفاع بوته را صفات مؤثر بر عملکرد دانه گزارش کردند. اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار روز تا رسیدگی توسط سمنانی‌نژاد و همکاران (Semnaninejad et al., 2021) نیز گزارش شده است. در این آزمایش صفت روز تا سنبله‌دهی نسبت به سایر صفات بیشترین اثر مستقیم را داشت و اثر غیرمستقیم آن از طریق سایر صفات کمتر بود به همین دلیل گزینش از طریق این صفت برای عملکرد، بدون توجه به سایر صفات می‌تواند منجر به بهبود عملکرد دانه در شرایط دیم برای ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی باشد. صبا و همکاران (Saba et al., 2018) گزارش کردند که در شرایط دیم گزینش برای صفت تعداد سنبله در بوته به خاطر داشتن بیشترین اثر مستقیم می‌تواند منجر به بهبود عملکرد دانه شود بدون اینکه به سایر اجزای عملکرد دانه توجه داشته باشیم. همچنین عنوان نمودند که با توجه به اینکه تنش در شرایط دیم بیشتر در انتهای فصل رخ می‌دهد وزن هزار دانه به‌عنوان آخرین جزء عملکرد بیشترین تأثیر را از تنش می‌بینند و بیشتر تحت تأثیر سایر صفات قرار می‌گیرد. در این آزمایش نیز صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی به دلیل اینکه متأثر از تنش انتهای فصل نمی‌باشند و به خصوصیات لاین‌های مورد ارزیابی مربوط می‌شوند بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که روز تا سنبله‌دهی کمتر و روز تا رسیدگی بیشتر داشته باشند می‌توانند عملکرد بالاتری تحت شرایط دیم تولید کنند.

جدول ۵. ماتریس همبستگی بین صفات مطالعه شده، بر اساس میانگین داده‌های دو سال آزمایش

Table 5. Correlation matrix between studied traits based on two years data of experiment

	A	T	SC	Ci	MC	DHE	DMA	PLH	TGW	Yield
A	1									
T	0.64**	1								
SC	0.41**	0.51**	1							
Ci	0.39**	0.13	0.16	1						
MC	0.48**	0.35**	0.09	-0.56**	1					
DHE	0.23	0.50**	0.26	-0.19	0.27*	1				
DMA	0.17	0.48**	0.31*	-0.17	0.17	0.87**	1			
PLH	-0.12	-0.57**	-0.24	0.22	-0.25	-0.50**	-0.42**	1		
TGW	-0.23	-0.03	-0.08	0.001	-0.18	-0.09	0.07	0.02	1	
Yield	0.27*	0.17	-0.25	-0.18	-0.21	-0.51**	-0.22	0.54**	0.34*	1

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵

A: سرعت فتوسنتز، T: سرعت تعرق، SC: هدایت روزنه‌ای، Ci: غلظت Co_2 زیر روزنه‌ای، MC: هدایت مزوفیلی DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ Yield: عملکرد دانه

* and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

A: Photosynthesis rate, T: Transpiration rate rate, Sc: Stomatal conductance, Ci: Intercellular CO_2 concentration, MC: Mesophyll conductance, DHE: Days to heading; DMA: Days to maturity; PLH: Plant height; TGW: 1000 grain weight; Yield: Grainyield

از تجزیه همبستگی کانونی بین متغیرهای فیزیولوژیک و زراعی یک همبستگی کانونی معنی‌دار (r=۰/۷۴) حاصل شد. متغیر کانونی معنی‌دار، ۸۲/۱۵ درصد از واریانس کل را توضیح داد (جدول ۷). همان‌گونه که در جدول ۷ مشخص است یک همبستگی کانونی در توصیف ارتباط بین دو دسته متغیر معنی‌دار شده است، بنابراین همبستگی بین دو دسته متغیر X و Y در یک ترکیب خطی خلاصه می‌شود. ازاین‌رو می‌توان عنوان کرد که ارتباط بالایی بین صفات فیزیولوژیک و صفات زراعی در این آزمایش وجود دارد. علوی سینی و صبا (Alavi-Siney and Saba, 2014)، نظری و همکاران (Nazari et al., 2022) در گندم و غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2011) در کلزا با استفاده از تجزیه

همبستگی کانونی ارتباط معنی‌داری بین دو دسته صفات فیزیولوژیک و زراعی گزارش کردند. صبا و همکاران (Saba et al., 2018) و طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour et al., 2021) نیز از این تکنیک برای بررسی ارتباط بین صفات زراعی و فنولوژیک گیاه گندم بهره بردند.

جدول ۶. اثرات مستقیم (اعداد روی قطر) و غیرمستقیم (اعداد خارج قطر) صفات موردمطالعه بر عملکرد گندم

Table 6. Direct (diagonal values) and indirect (values outside diagonal) effects of studied traits on wheat yield

Trait	DHE	DMA	PLH	TGW	Yield
DHE	**-1.05**	0.73	-0.19	-0.02	-0.51**
DMA	-0.91	**0.84**	-0.16	0.01	-0.22
PLH	0.53	-0.36	**0.37**	0.01	0.54**
TGW	0.11	0.06	0.01	**0.17**	0.34*

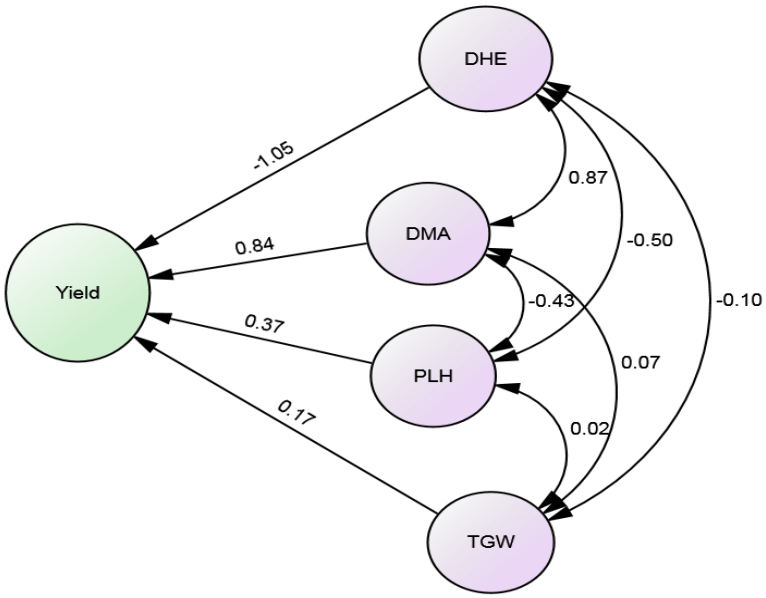
** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ Yield: عملکرد دانه

DHE: Days to heading; DMA: Days to maturity; PLH: Plant height; TGW: 1000 grain weight; Yield: Grainyield
ns, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

به‌منظور بررسی ارتباط بین دسته صفات و صفات تأثیرگذار در هر متغیر کانونی از ضرایب استانداردشده استفاده می‌شود (جدول ۸). محققین عنوان نمودند ارتباط بین متغیرهای کانونی و متغیرهای اصلی با ضرایب همبستگی بین آن‌ها ارزیابی می‌شود که عموماً ضرایب ساختاری نامیده می‌شوند (Johnson and Wichern, 2002).

در این پژوهش مشخص شد که صفات سرعت تعرق (۱/۰۶)، غلظت CO_2 زیر روزنه (۰/۸۱-)، هدایت مزوفیلی (۰/۵۵-)، روز تا رسیدگی (۰/۴۹) و ارتفاع بوته (۰/۶۹-) دارای بیشترین ضرایب ساختاری استانداردشده بودند؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد بیشترین نقش را در ارتباط بین دو دسته متغیر ایفا می‌کنند. مقدار ضرایب کانونی استانداردشده نشان‌دهنده سهم نسبی آن‌ها در هر متغیر کانونی است؛ یعنی ضرایب بیانگر صفات فیزیولوژیک مؤثر بر صفات زراعی در ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم است؛ بنابراین صفات مذکور در ارتباط دو دسته متغیر مهم هستند.



شکل ۱. تجزیه علیت صفات موردمطالعه بر عملکرد گندم نان. DHE : تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ Yield: عملکرد دانه

Fig. 1. Path analysis diagram of studied traits on bread wheat yield. DHE: Days to heading; DMA: Days to maturity; PLH: Plant height; TGW: 1000 grain weight; Yield: Grain yield

بیشترین همبستگی بین صفات زراعی و فیزیولوژیک توسط اولین جفت متغیر کانونی ایجاد شد (جدول ۹). متغیر کانونی V1 طی دو سال آزمایش، ۲۳ درصد از تغییرات متغیرهای اصلی فیزیولوژیک را توضیح داد. این متغیر کانونی باتمام صفات فیزیولوژیک همبستگی معنی‌داری داشت. بیشترین همبستگی به‌سرعت تعرق مربوط بود. همبستگی

غلظت CO_2 زیر روزنه با متغیر کانونی اول منفی و معنی‌دار و صفات سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. افزایش هدایت روزنه‌ای ارتباط مستقیمی با افزایش سرعت تعرق دارد. ژنوتیپ‌هایی که هدایت روزنه‌ای بالا دارند با باز نگه‌داشتن روزنه‌ها، سرعت تعرق بالاتری داشته و رطوبت موجود را تحت شرایط دیم هدر می‌دهند. رابطه منفی غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای و رابطه مثبت هدایت مزوفیلی با متغیر کانونی نیز نشان می‌دهد که کمبود غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای نشان‌دهنده محدود نبودن عوامل غیر روزنه‌ای فتوسنتز بوده و این‌گونه ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود رطوبت این توانایی را دارند که عمل فتوسنتزی خود را حفظ کنند. در مطالعه علوی سینی و صبا (Alavi-Siney and Saba, 2014).

جدول ۷. تجزیه همبستگی کانونی بین صفات زراعی و فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط دیم طی دو سال آزمایش

Table 7. Canonical correlation analysis between agronomical and physiological traits in bread wheat genotypes during two years of experiment

متغیر کانونی Canonical Variable	همبستگی کانونی Canonical correlation	ریشه مشخصه Eigenvalue	نسبت Proportion	نسبت تجمعی Cumulative proportion
1	0.74^{**}	1.22	82.15	82.15
2	0.38^{ns}	0.17	11.41	93.56
3	0.29^{ns}	0.09	6.31	99.87
4	0.04^{ns}	0.002	0.13	100

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار

ns, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۸. ضرایب کانونی استانداردشده برای متغیرهای کانونی معنی‌دار در طی دو سال آزمایش

Table 8. Standardized canonical coefficient for significant canonical variable during tow years of experiment

X-variable set	دسته متغیرهای X	V_1	Y-variable set	دسته متغیرهای Y	W_1
Photosynthesis rate	**سرعت فتوسنتز**	0.12	**Days to heading**	**روز تا سنبله‌دهی**	-0.007
Transpiration rate rate	**سرعت تعرق**	1.06	**Days to maturity**	**روز تا رسیدگی**	0.49
Stomatal conductance	**هدایت روزنه‌ای**	0.03	**Plant height**	**ارتفاع بوته**	-0.69
Intercellular CO2 concentration	**غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای**	-0.81	**1000 grain weight**	**وزن هزار دانه**	0.03
Mesophyll conductance	**هدایت مزوفیلی**	-0.55			

همبستگی صفات سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای با متغیر کانونی مثبت و معنی‌دار ولی ارتباط هدایت روزنه‌ای را منفی گزارش شد. در مطالعه نظری و همکاران (Nazari et al., 2022) همبستگی صفات سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای با متغیر کانونی در طی دو سال آزمایش مثبت و معنی‌دار گزارش شد. مقایسه این نتایج با نتایج تجزیه همبستگی ساده نشان می‌دهد که ارتباط صفت غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای با صفات سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای و همچنین ارتباط هدایت مزوفیلی با صفت هدایت روزنه‌ای معنی‌دار نبود ولی در تجزیه همبستگی کانونی با در نظر گرفتن رابطه همه صفات به‌طور هم‌زمان رابطه این صفات به‌جز سرعت فتوسنتز با یکدیگر معنی‌دار بود. این نتایج در توافق با نتایج برخی محققین است (Nazari et al., 2022; Lorenceti et al., 2006). با توجه به نتایج تجزیه همبستگی کانونی و بررسی ارتباط بنابراین می‌توان با اطمینان بیشتر در مورد ارتباط این صفات تحت شرایط دیم نظر داد. تنظیم اسمزی و داشتن سیستم ریشه‌ای قوی و عمیق یکی از سازوکارهای مقابله با تنش خشکی در غلات است که با بالا بردن جذب و بازده مصرف آب باعث افزایش تحمل خشکی در غلات می‌شود (Alavi-Siney et al., 2013).

متغیر کانونی W1 بر اساس داده‌های دو سال آزمایش ۵۰ درصد از تنوع متغیرهای اصلی زراعی را توضیح داد (جدول ۹). متغیر کانونی صفات زراعی با صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی مثبت و با صفت ارتفاع بوته رابطه منفی داشت. صفت وزن هزار دانه در این متغیر کانونی معنی‌دار نبود. بزرگ‌ترین همبستگی به مقدار ۰/۹۰-

به صفت ارتفاع بوته اختصاص داشت. مقایسه رابطه بین صفات زراعی از طریق دو روش همبستگی ساده و کانونی آشکار کرد، همبستگی ساده صفت وزن هزار دانه با تمامی صفات زراعی موردمطالعه معنی‌دار نبود و صفت ارتفاع بوته همبستگی منفی با صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک داشت (جدول ۵). در همبستگی کانونی نیز این رابطه برقرار بود (جدول ۹). با توجه به تائید نتایج تجزیه همبستگی ساده از طریق روش تجزیه همبستگی کانونی می‌توان با اطمینان در مورد ارتباط بین صفات نظر داد.

جدول ۹. همبستگی بین متغیرهای اصلی و متغیرهای کانونی معنی‌دار مربوط (V_1 و W_1) و متغیرهای کانونی مقابل (V_1W_1 و W_1V_1)

Table 9. Correlations between the original variables and their canonical variables (V_1 and W_1) and the opposite canonical variables (V_1W_1 و W_1V_1)

دسته صفات فیزیولوژیک X-variable set	V_1	V_1W_1	دسته صفات زراعی Y-variable set	W_1	W_1V_1
سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	0.21	0.16	روز تا سنبله‌دهی Days to heading	0.76**	0.57**
سرعت تعرق Transpiration rate rate	0.84**	0.62**	روز تا رسیدگی Days to maturity	0.78**	0.58**
هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	0.43**	0.32*	ارتفاع Plant height	-0.90**	-0.67**
غلظت CO_2 زیر روزنه Intercellular CO_2 concentration	-0.32*	-0.24	وزن هزار دانه 1000 grain weight	0.05	0.04
هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance	0.33*	0.25			
نسبت واریانس Variance ratio	0.23	0.13	نسبت واریانس Variance ratio	0.50	0.27

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار

ns, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

متغیر کانونی V1W1، ۱۳ درصد از واریانس کل صفات زراعی را توجیه کرد به‌طوری‌که بر اساس میانگین داده‌های دو سال آزمایش صفات سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای ارتباط مثبت و معنی‌داری با صفات زراعی نشان دادند و اثر سایر صفات دراین‌ارتباط معنی‌دار نبود (جدول ۹).

متغیر کانونی W1V1، ۲۷ درصد از واریانس کل صفات فیزیولوژیک را توضیح داد به‌طوری‌که صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی رابطه مثبت و معنی‌دار و صفت ارتفاع بوته رابطه منفی و معنی‌دار با دسته صفات فیزیولوژیک از خود نشان دادند (جدول ۹).

با توجه به نتایج جدول ۹ می‌توان عنوان نمود که بر اساس داده‌های دو سال آزمایش ژنوتیپ‌هایی که تعداد روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی بالاتری داشته و ارتفاع کمتری داشته باشند ژنوتیپ‌هایی با سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای بالاتر خواهند بود. با توجه به نتایج بر اساس میانگین داده‌های دو سال آزمایش مشخص می‌گردد ژنوتیپ‌هایی که تعداد روز تا سنبله‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک در آن‌ها بالاتر باشد ژنوتیپ‌هایی هستند که سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای بالاتری دارند یعنی این ژنوتیپ‌ها دیرتر به سنبله رفته و در شرایط دیم دوره رشدی آن‌ها تحت تأثیر تنش انتهای فصل قرار می‌گیرند. بالا بودن هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در این ژنوتیپ‌ها به دلیل سنبله‌دهی دیرهنگام بوده و برای اینکه بتوانند از شرایط برای تکمیل دوره رشدی خود استفاده کنند روزنه‌های خود را باز نگه می‌دارند (Saba et al., 2018). سرعت فتوسنتز هیچ ارتباطی با صفات زراعی نشان نداد در تجزیه همبستگی ساده نیز هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز و صفات زراعی به‌جز عملکرد دانه مشاهده نشد. با توجه به ارتباط صفات در تجزیه همبستگی کانونی مشخص می‌گردد ژنوتیپ‌هایی که هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق کمتری داشته باشند، ژنوتیپ‌هایی هستند که زودتر به سنبله رفته و روز تا رسیدگی کمتر (ژنوتیپ‌های زودرس) و

ارتفاع بلندتری خواهند داشت؛ بنابراین گزینش برای ژنوتیپ-های با هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق پایین منجر به گزینش ژنوتیپ‌های می‌شود که زودتر به سنبله رفته، زودرس بوده و دارای ارتفاع بالا می‌باشند؛ بنابراین احتمال مواجهه طول دوره پر شدن دانه این‌گونه ژنوتیپ‌ها با تنش‌های انتهای فصل به حداقل می‌رسد. ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی خصوصیات فیزیولوژیکی ویژه‌ای دارند که آن‌ها را قادر می‌سازد تا آب بیش‌تری در بافت‌هایشان تحت شرایط کمبود آب ذخیره کنند (Liu et al., 2003) و با کاهش طول دوره رویشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه فرصت بیشتری برای ذخیره مواد فتوسنتزی جاری و انتقال مجدد ذخایر ساقه‌ای خواهند داشت بدون اینکه طول دوره رشد افزایش پیدا کند (Saba et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج این پژوهش مشخص گردید که صفات زراعی روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی و ارتفاع، صفات تأثیرگذار در تعیین عملکرد دانه تحت شرایط دیم می‌باشند. بررسی ارتباط صفات نیز نشان داد تحت شرایط دیم گزینش برای صفات فیزیولوژیک از قبیل سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای کمتر منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با ارتفاع بالا، روز تا سنبله-دهی پایین و دوره رشدی کوتاه‌تر و درنهایت عملکرد بالاتر می‌شود؛ بنابراین ژنوتیپ‌های با دوره رشدی کوتاه‌تر که بتوانند از تنش‌های انتهایی فرار کنند و تحت شرایط دیم با بستن روزنه‌ها، آب کمتری هدر دهند برای حصول عملکرد بالا تحت شرایط دیم مناسب‌تر می‌باشند.

منابع

Akram, Z., Ajmal, S.U., Munir, M., 2008. Estimation of Correlation Coefficient among Some Yield Parameters of Wheat under Rainfed Conditions. Pakistanian Journal of Botany. 40, 1777-1781.

Alavi-Siney, S.M., Saba, J., 2014. Studying the association between physiological and agronomical characteristics of different wheat genotypes in dryland condition using canonical correlation analysis. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7, 13-23. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2014.152

Alavi-Siney, S. M., Saba, J., 2015. Analysis of yield and yield components traits in twenty bread wheat genotypes under dryland conditions. Philippine Journal of Crop Science. 40, 78-87.

Alavi-Siney, S.M., Saba, J., Nasiri, J., 2013. Evaluation of some physiological traits in drought tolerant lines of bread wheat in rainfed conditions. Seed and Plant Improvment Journal. 29, 637-657. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111182

Alavi-Siney, S.M., Saba, J., 2021. Investigation of the relationship between SSR markers and agronomic traits in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Horticulture and Postharvest Research. 4, 79-88. https://doi.org/10.22077/JHPR.2021.4391.1214

Ali, I., Shakor, E., 2012, Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions. Mesoptamia Joural of Agriculture. 40, 27-39. https://doi.org/10.33899/magrj.2012.59640

Bayat, M., Amirnia, R., Özkan, H., Gedik, A., Ate, D., Rahimi, M., Tanyulac, B., 2018. Identification of markers associated with traits for use in marker-assisted selection in saffron. Genetika. 50, 971-982. https://doi.org/10.2298/GENSR1801033B

Blum, A., 1998. Improving Wheat Grain Filling under Stress by Stem Reserve Mobilisation. Euphytica, 100, 77-83.

Cruz, C.D., Regazzi, A., 1997. Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. Edition UFV. What kind of Embrapa Florestas. Colombo, Sri Lanka, 390 p.

Dunteman, G.H., 1984. Introduction to Multivariate Analysis. Sage Publications, Inc. California, USA, 232 p.

Farooq, M., Hussain, M. Siddique, K. H. 2014. Drought Stress in Wheat during Flowering and Grain-Filling Periods. Critical Reviews In Plant Science. 33, 331- 349. https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291

Ghaffari, G., Toorchi, M., Aharizad, S., Shakiba, M., 2011. Evaluation of traits related to water deficit stress in winter rapeseed cultivars. Universal Journal of Environmental Research and Technology. 1, 338-350.

Hu, T., Renzullo, L.J., van Dijk, A.I., He, J., Tian, S., Xu, Z., Zhou, J., Liu, T., Liu, Q., 2020. Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals. Remote Sensing of Environment. 236, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111419

Johnson, R.A., Wichern, D.W., 2002. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.

Khodadadi, M., Fotokian, M.H., Miransari, M., 2011. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. Australian Journal of Crop Science. 5, 17-24.

Korobov, R.M., Railyan, V.Y., 1993. Canonical correlation relationships among spectral and phytometric variables for 20 winter-wheat fields. Remote Sensing of Environment 43, 1–10. https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90059-7

Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., Bekkaoui, F., 2018. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. Frontiers in Chemistry. 6,: 1-14. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026

Liu, F., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2003. Hydraulic and Chemical Signals in the Control of Leaf Expansion and Stomatal Conductance in Soybean Exposed to Drought Stress. Functional Plant Biology. 30, 65-73.

Lonbani, M., Arzani, A., 2011. Morpho-Physiological Traits Associated with Terminal Drought- Stress Tolerance in Triticale and Wheat. Agronomy Research. 9, 315-329.

Lorenceti, C., Felix de Carvalho, F.I., de Oliviera, A.C., Valerio, I.P., Hartwig, I., Benin, G., Schmidt, D.A.M., 2006. Applicability of phenotypic and path coefficient in the selection of oat genotypes. Scientia Agricola. 63, 11-19. https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000100003

Ministry of Agriculture Jihad (MAJ)., 2021. Communications and information technology center. Available at Web site https://amar.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=11756 4e0-507c-4565-9659-fbabf b4acb9b. [In Persian].

Najafian, G., Kaffashi, A., Jafar-Nezhad, A. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. Journal of Agricultural Science and Technology. 12, 213-222. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2010.12.2.1.9

Nazari, H., Golkari, S., Alavi-Siney, S. M., Namdari Geshnigani, A., 2022. Use of canonical correlation analysis to improve grain yield of wheat genotypes through indirect selection under rainfed conditions. Iranian Journal of Dryland Agriculture. 10, 183-199. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/IDAJ.2022.355798.349

Pask, A., Piertragalla, J., Mullan, D., Reynolds, M., 2011. Physiological Breeding II: A field guide to Wheat phenotyping, The International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), 64 PP.

Passioura, J., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management. Agricultural Water Management. 80, 176-196. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.012

Reynolds, M., Mujeeb-Kazi, A., Sawkins, M., 2005. Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought-and salinity-prone environments. Annals of Applied Biology, 146, 239-259. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040058.x

Saba, J., Tavana, Sh., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F., Jabbari, F., 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress. Jouranal of Agricultural Scince and Technology. 20, 1037-1048. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2018.20.5.10.0

Semnaninejad, H., Nourmohammadi, Gh., Rameeh, V., Cherati, A., 2021. Correlation and path coefficient analyses of phenological traits, yield components and quality traits in wheat. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 25, 597-603. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n9p597-603

Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Tarinejad, A., Mohammadi, H., Ebadi, A., 2021. Canonical correlation analysis of phonological and other traits related to grain

yield in different wheat genotypes under normal irrigation and stressed conditions at flowering time. Iranian Journal of Field Crop Science. 52, 121-132. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.290984.654650

Villegas, D., Garcia del Moral, L., Rharrabti, Y., Martos, V., Royo, C., 2007. Morphological traits above the flag leaf node as indicators of drought susceptibility index in durum wheat. Journal of Agronomy and Crop Science. 193, 103-116. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00246.x

Yang, J.C., Zhang, Wang Z.Q., Zhu, Q.S., Liu, L.J., 2002. Abscisic acid and cytokinins in the root exudates and leaves and their relationship to senescence and remobilization of carbon reserves in rice subjected to water stress during grain. Ling. Planta. 215, 645-652. https://doi.org/10.1007/s00425-002-0789-2