Vol 26, No. 4, Winter 2025

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Canonical Correlation Analysis between Yield and Yield Components with Root Traits in Bread Wheat Genotypes under Conditions of Moisture Stress of the Flowering Stage in Greenhouse Environment

Behnam Tahmasebpour[1] | Sodabeh Jahanbakhsh[2]✉ | Ali Reza Tarinejad[3] | Hamid Mohammadi[4] | Ali Ebadi[5]

1. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: b.tahmasebpour@uma.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: jahanbakhsh@uma.ac.ir
3. Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran. E-mail: tarinejad@azaruniv.edu
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran. E-mail: hmohammadi@azaruniv.edu
5. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: ebadi@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 May 2023
Received in revised form
7 May 2024
Accepted 24 May 2024
Published online 30 December 2024

Keywords:
Causality Analysis
Root dry weight
Selection index

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate the relationships between traits and utilize these relationships to select high-yielding cultivars under normal irrigation and drought stress conditions at onset of the flowering stage.

Methods: To investigate the relationships between yield traits and their components with root traits, a split plot experiment was conducted based on a completely randomized experimental design with three replications. Thirty wheat genotypes were determined as secondary factors subjected to normal irrigation conditions and under moisture stress at the beginning of flowering at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Shahid Madani University of Azerbaijan in 2015-2016.

Results: Under normal irrigation conditions in the greenhouse, the desirable criteria for increasing grain yield is a primary emphasis on root dry weight, followed by an emphasis on root volume as a secondary factor. Based on the results of the canonical correlation analysis under moisture-stress conditions in greenhouse, root traits, grain number per spike, total grain yield, root dry weight, root volume, and root number play a more critical role in increasing the 1000-grain weight, manifesting as predominant and influential factors.

Conclusion: According to results, several parameters such as the number of days to 50% flowering, shoot growth rate, malondialdehyde content, flag leaf area, 1000-grain weight, chlorophyll a content, carotenoid levels, peduncle length, dry root weight, root volume, and root number can be determined as appropriate indices for selecting high-yielding genotypes

Cite this article: Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A. R., Mohammadi, H., & Ebadi, A. (2025). Canonical Correlation Analysis between Yield and Yield Components with Root Traits in Bread Wheat Genotypes under Conditions of Moisture Stress of the Flowering Stage in Greenhouse Environment. *Journal of Crops Improvement*, 26 (4), 727-745. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359433.2815

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359433.2815

دوره بیست و ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

تجزیه همبستگی کانونیک عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تنش رطوبتی گل‌دهی در محیط گلخانه

بهنام طهماسب‌پور [۱] | سدابه جهانبخش [۲]✉ | علیرضا تاری‌نژاد [۳] | حمید محمدی [۴] | علی عبادی [۵]

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: b.tahmasebpour@uma.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: jahanbakhsh@uma.ac.ir

۳. گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. رایانامه: tarinejad@azaruniv.edu

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. رایانامه: hmohammadi@azaruniv.edu

۵. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: ebadi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

کلیدواژه‌ها:
تجزیه علیت
شاخص گزینش
وزن خشک ریشه

چکیده

هدف: هدف این پژوهش بررسی روابط موجود بین صفات و استفاده از این روابط در گزینش ارقام پرمحصول تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در مرحله شروع گل‌دهی بود.

روش پژوهش: به‌منظور بررسی روابط بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای، ۳۰ ژنوتیپ به‌عنوان فاکتور فرعی تحت آزمایش اسپلیت‌پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی شروع گل‌دهی (به‌عنوان فاکتور اصلی) در سال ۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان بررسی شدند.

یافته‌ها: تحت شرایط آبیاری مطلوب در گلخانه برای افزایش عملکرد دانه، صفت وزن خشک ریشه در درجه اول و حجم ریشه در درجه دوم می‌توانند به‌عنوان معیار مناسب در نظر گرفته شوند. براساس نتایج حاصل از تجزیه همبستگی کانونیک تحت شرایط تنش رطوبتی در گلخانه، برای افزایش وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه، صفات وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد ریشه از عوامل مهم و تأثیرگذار می‌باشند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش، صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، سرعت رشد رویشی، مالون‌دی‌آلدهید، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه، محتوای کلروفیل a، میزان کاروتنوئید و طول پدانکل، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد ریشه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول استفاده شوند.

استناد: طهماسب‌پور، بهنام؛ جهانبخش، سدابه؛ تاری‌نژاد، علیرضا؛ محمدی، حمید و عبادی، علی (۱۴۰۳). تجزیه همبستگی کانونیک عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تنش رطوبتی گل‌دهی در محیط گلخانه. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۴)، ۷۲۷-۷۴۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359433.2815

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است که حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان به کشت آن اختصاص یافته است. گندم گیاه ارزشمندی است که بیش‌ترین استفاده آن برای تأمین غذا بوده، به‌طوری‌که نزدیک به ۶۸ درصد کل آن، تا به امروز برای تأمین غذا به‌کار رفته است. میانگین رشد جهانی عملکرد گندم، فقط ۰/۸ درصد در سال، در کشورهای اصلی تولیدکننده گندم خواهد بود. براساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (فائو[1]، ۲۰۲۰). در آینده نزدیک گسترش فعالیت‌های کشاورزی به مناطقی با حاصلخیزی کم‌تر برای تأمین نیازهای رو به افزایش غذایی، موجب خواهد شد کمبود آب اهمیت بیش‌تری پیدا کند. خشکی به‌عنوان یکی از عمومی‌ترین و چالش‌برانگیزترین تنش‌های محیطی در کشاورزی تمام دنیا شناخته می‌شود (لاماوی[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ هیو[3] و همکاران، ۲۰۲۰) و تولید گندم نان (*Triticum aestivum* L.) را ۲۱ درصد کاهش می‌دهد (داریانتو[4] و همکاران، ۲۰۱۶). سطح کشت گندم در ایران در سال‌های اخیر به‌طور عمده به‌دلیل وقوع تنش شدید خشکی با کاهش مواجه گردیده است. تنش خشکی از طریق کاهش رشدونمو دانه، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (فهاد[5] و همکاران، ۲۰۱۷). شدت تنش و طول دوره تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد (محمدی احمدمحمودی[6] و همکاران،۲۰۲۰)، پرشدن دانه و کاهش اجزای عملکرد، تعیین کننده میزان کاهش عملکرد دانه می‌باشد (الکودا[7] و همکاران، ۲۰۱۱).

تنش خشکی هر ساله خسارت فراوانی را در محصولات زراعی ایجاد می‌کند و موجب کاهش ۱۷ درصدی عملکرد می‌شود. از این‌رو، انجام پژوهش‌ها در زمینه بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و یافتن راه‌کارهای مناسب جهت به حداقل‌رساندن تلفات آب در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (پردل مراغه[8]، ۲۰۱۳؛ کواسیک[9] و همکاران، ۲۰۱۴). حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گل‌دهی است و خشکی پس از گل‌دهی از طریق آسیب‌رساندن به فرایند پرشدن دانه می‌تواند روی میانگین وزن هر دانه تأثیر منفی بگذارد (عبید[10] و همکاران، ۲۰۱۶). سعیدی[11] و عبدلی[12] (۲۰۱۵)، گزارش کردند که وقوع تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در گندم کاهش بیش‌تر وزن هزاردانه را در مقایسه با دیگر اجزای عملکرد به‌دنبال دارد. در مطالعه دیگری اعلام شده است که تنش در مرحله گرده‌افشانی عملکرد را از طریق کم‌شدن وزن هزاردانه کاهش می‌دهد (دالوندی[13] و همکاران، ۲۰۱۳). پاسخ اجزای عملکرد به تنش خشکی با توجه به زمان وقوع و مدت زمان تنش در ارقام مختلف، یکسان نمی‌باشد. تنش خشکی موجب آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن شده و منجر به تخریب کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، تغییر ساختار و تخریب پروتئین‌ها و غیرفعال‌شدن آنزیم‌ها می‌گردد (کواسیک[14] و همکاران، ۲۰۱۴). گیاهان جهت مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، از سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی آنزیمی

1. FAO
2. Lamaoui
3. Hu
4. Daryanto
5. Fahad
6. Mohammadi-Ahmadmahmoudi
7. Alqudah
8. Pordel-Maragheh
9. Kovacik
10. Abid
11. Saeidi
12. Abdoli
13. Dalvandi
14. Kovacik

نظیر پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکساید دیسموتاز و غیرآنزیمی نظیر کاروتنوئیدها استفاده می‌کنند که در پاکسازی مولکول‌های هیدروژن پراکسیداز تولیدشده در سلول ایفای نقش می‌نمایند (میلر[1] و همکاران، ۲۰۱۰). گیاهان از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت برای افزایش تحمل در برابر تنش اکسیداتیو استفاده می‌کنند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها (نظیر آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز) تحت تنش افزایش می‌یابد که نمایانگر مقاومت گیاه در مقابل تنش است (پریدا[2] و داس[3]، ۲۰۰۵).

هم‌زمان با تغییرات صفات فیزیولوژیکی در گیاهان، صفات مورفولوژیکی نیز در اثر تنش خشکی تغییر می‌کنند، در نتیجه برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی می‌توان از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب بهره جست. براساس پژوهش‌های صبا[4] و همکاران (۲۰۱۸)، لاین‌های مطلوب گندم آن‌هایی هستند که بیوماس نسبتاً زیاد، ارتفاع بوته و طول سنبله متوسط و دمای کانوپی پایین دارند و انتظار می‌رود که این لاین‌ها به‌طور هم‌زمان تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه بیش‌تر و در نتیجه عملکرد دانه در بوته بیش‌تری تولید نمایند. صبا و همکاران (۲۰۱۸)، با ارزیابی ۳۶ لاین پیشرفته گندم در طول سه سال متوالی تحت شرایط دیم گزارش کردند که برای اصلاح عملکرد دانه در بوته گندم تحت شرایط دیم، گزینش برای دوره رویشی کوتاه‌تر و دوره پرشدن دانه طولانی‌تر پیشنهاد می‌شود.

۲. پیشینهٔ پژوهش

مطالعات متعددی در زمینه همبستگی بین صفات، به‌منظور بررسی ارتباط میان صفات مورفولوژیکی و هم‌چنین نوع و میزان تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه از طریق تجزیه علیت و تجزیه به عامل‌ها توسط پژوهش‌گران صورت گرفته است و با تعیین همبستگی بین صفات و انجام تجزیه علیت، در جهت انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا اقدام نموده‌اند (طالبی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از مؤثرترین رویکردها برای اصلاح نباتات گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه از طریق سایر صفات می‌باشد (صبا و همکاران، ۲۰۱۸). به‌دلیل وجود همبستگی بین برخی صفات مرتبط با عملکرد و هم‌چنین به‌دلیل روابط پیچیده صفات با همدیگر، قضاوت نهایی نمی‌تواند فقط بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد. قبل از تجزیه علیت با رگرسیون گام به گام می‌توان اثر صفات بی‌تأثیر یا کم‌تأثیر بر عملکرد را در مدل رگرسیونی حذف کرد و صفاتی را که میزان قابل‌توجهی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند برگزید (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۰). صابری و همکاران (۱۳۹۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین صفات ارتفاع گیاه و طول سنبله با صفت عملکرد دانه گزارش کردند. در پژوهشی، جانمحمدی[5] و همکاران (۲۰۱۴) روابط بین صفات را در ۵۶ ژنوتیپ گندم نان در شرایط مزرعه بررسی کردند. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که عملکرد دانه با صفات قطر ساقه، طول سنبله، تعداد گلچه، تعداد سنبلچه، قطر دانه، طول دانه و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. آبیناسا[6] و همکاران (۲۰۱۱)، بین تعداد روز تا رسیدگی و صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده کردند. توپال[7] و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که طول سنبله و تعداد دانه در سنبله از اجزای اصلی عملکرد گندم هستند و اثر مستقیم بزرگی بر روی عملکرد دانه دارند.

1. Miller
2. Parida
3. Das
4. Saba
5. Janmohammadi
6. Abinasa
7. Topal

تجزیه همبستگی کانونی یک تکنیک چندمتغیره است که ارتباط بین دو گروه از متغیرها را از طریق برآورد همبستگی بین ترکیبات خطی یک گروه از متغیرها با ترکیبات خطی گروه دوم متغیرها برآورد می‌کند و این تجزیه می‌تواند به‌عنوان روشی به‌حساب آید که روابط چندگانه را در تعداد کمی رابطه معنی‌دار گرد هم‌آورد (جانسون[1] و ویچرن[2]، ۲۰۰۲). صبا و همکاران (۲۰۱۸)، با ارزیابی متغیرهای کانونیکی برای اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل گزارش کردند که افزایش بیوماس و کاهش دمای کانوپی منجر به افزایش تعداد سنبله در بوته و وزن هزاردانه و کاهش تعداد دانه در سنبله و در نهایت سبب افزایش عملکرد بوته می‌شود. هم‌چنین براساس گزارش آن‌ها متغیر کانونیکی برای صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی حدود ۵۰ درصد تنوع اجزای عملکرد را توجیه نمود (صبا و همکاران، ۲۰۱۸).

این پژوهش با هدف بررسی روابط بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه و تعیین نقش و میزان نسبی هر یک از آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره می‌باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با ۳۰ ژنوتیپ گندم به‌عنوان فاکتور فرعی تحت آزمایش اسپلیت‌پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی (به‌عنوان فاکتور اصلی) انجام گرفت. ژنوتیپ‌های مورداستفاده در این آزمایش مطابق جدول (۱) به‌عنوان تیمارهای کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. کدهای cd-1 تا cd-11 مربوط به ژنوتیپ‌های آزمایش آ تست[3] سال ۹۴ و کدهای C-93 تا C-94 به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های آزمایش یکنواخت سراسری[4] سال ۹۳ و ۹۴ مناطق سرد می‌باشند که از بخش غلات مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر شجره ژنوتیپ‌ها تهیه شدند.

جدول ۱. شجره ارقام موردمطالعه

ژنوتیپ‌ها	شجره	ژنوتیپ‌ها	شجره
cd-1	Zareh	c-93-7	Bow/Crow/3Rsh//Kal/Bb/3/Gun91
cd-2	Ald"s"/Snb"s"//Zrn*2/3/Yaco/Parus//Parus	c-93-8	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
cd-3	Bow/Crow/3Rsh//Kal/Bb/3/Gun91	c-93-9	Bluegil-2/BucuR//Sirena
cd-4	Nwau15/Attila//Shark/F4105W2.1	c-93-10	Ajvina
cd-5	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1	c-93-11	Gul96/Shark-1
cd-6	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1	c-94-3	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos
cd-7	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos	c-94-4	Ga961565-27-6/La95283Ca-78-1-2
cd-8	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos	c-94-6	Charger/OWL 85224*-3H-*O-*HOH//Alvd
cd-9	Eryt 1554.90/MV17	c-94-7	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1
cd-10	Gul96/Shark-1	c-94-8	Bluegil-2/Bucur//Sirena
cd-11	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Ald"s"/Snb"s"*2/5/Opata*2/Wulp	c-94-9	Or2071681
c-93-3	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1	MV 17	Mv-17
c-93-4	Nwau15/Attila//Shark/F4105W2.1	Heydari	Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87// Shiroodi cultivar
c-93-5	Eryt 1554.90/MV17	Mihan	87Zhong-90/Bkt
c-93-6	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Ald"s"/Snb"s"*2/5/Opata*2/Wulp	Eroum	Her/Alvand//NS732

ژنوتیپ‌ها در گلخانه درون گلدان‌های نایلونی (۲۸ سانتی‌متر قطر دهانه و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) که از ۷ کیلوگرم خاک مزرعه با مشخصات جدول (۲) پر شده بود، در آبان ماه کشت شدند.

1. Johnson
2. Wichern
3. ARWYT
4. URWYT

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ خاک گلخانه قبل از اجرای آزمایش

رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	اسیدیته	شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی	نیتروژن کل (درصد)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
۱۳	۲۴	۶۳	۷/۷۸	۴/۶۸	۰/۹۸	۰/۰۹	۴۸۶	۳۱

در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کشت و بعد از جوانه‌زنی و در مرحله شروع پنجه‌دهی با انجام تنک، به پنج بوته در هر گلدان تقلیل داده شد. عمق کاشت بذور ۳-۲ سانتی‌متر منظور شد. در گلخانه در شرایط نرمال و بدون اعمال تنش، گلدان‌ها بسته به نیاز و شرایط گلخانه‌ای هر ۵-۴ روز یک‌بار آبیاری شدند. اما اعمال تنش در مرحله گل‌دهی (کد ۵۹ در مقیاس زادکس) از طریق توزین وزن خاک گلدان‌ها تعیین گردید. بدین صورت قبل از انجام آزمایش میزان ۷ کیلوگرم خاک در آون ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس وزن خاک توزین و مجددا خاک موردنظر در گلدان ریخته شد و بطور کامل آبیاری شد و بعد از خروج آب ثقلی دوباره گلدان موردنظر توزین شد. پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک مقدار آب نگهداری‌شده در ظرفیت زراعی تعیین شد. بنابراین در تیمارهای تنش کمبود آب، آبیاری در FC ۵۰ درصد به گلدان‌ها اعمال شد (حسین‌زاده[1] و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به این‌که برخی ژنوتیپ‌ها زمستانه و برخی بهاره-پاییزه (حد واسط) هستند، ژنوتیپ‌ها در مرحله رزت به‌مدت یک ماه تحت تنش سرمایی در شروع زمستان با بازکردن پنجره گلخانه قرار گرفتند تا بتوانند به ساقه بروند. در گلخانه، کود نیترات آمونیم به‌صورت محلول در آب آبیاری به گلدان‌ها در سه نوبت و در هر مرحله دوم گرم به هر گلدان از طریق پیمانه داده شد.

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، ابتدا دو رقم حساس و دو رقم متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، از بین ۳۰ ژنوتیپ مطالعه‌شده در شرایط گلخانه و مزرعه، انتخاب و نمونه‌برداری از این چهار رقم انجام شد و سپس نمونه‌ها با انجماد سریع در ازت مایع، بلافاصله به فریزر ۷۰- درجه سانتی‌گراد منتقل و تا زمان استفاده و اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک در آن نگهداری شدند. غلظت کلروفیل‌های a، b و کل و میزان کاروتنوئیدهای برگ با روش آرنون[2] (۱۹۶۷)، میزان پرولین برگ با روش بیتس[3] و همکاران (۱۹۷۳)، غلظت پروتئین با روش برادفورد[4] (۱۹۷۶)، فعالیت آنزیم پراکسیداز[5] با روش کار[6] و میشرا[7] (۱۹۷۶)، غلظت مالون‌دی‌آلدهید[8] با روش اوکاوا[9] و همکاران (۱۹۷۹)، فعالیت سینتیک (جنبشی) آنزیم کاتالاز[10] با روش چنس[11] و ماهلی[12] (۱۹۹۵) و میزان پراکسیدهیدروژن[13] با روش آلکسیوا[14] و همکاران (۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی گیاه (کد ۸۳ تا ۹۴ در مقیاس زادکس) (اواسط تا اواخر مردادماه) از متوسط پنج بوته صفات ارتفاع بوته، طول، عرض و مساحت برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن سنبله بارور، وزن سنبله غیربارور، تعداد سنبله (پنجه) بارور و غیربارور، تعداد دانه در سنبله، وزن خشک بوته، وزن هزاردانه، طول ریشک، طول ساقه،

1. Hosseinzadeh
2. Arnon
3. Bates
4. Bradford
5. Peroxidase (POX)
6. Kar
7. Mishra
8. Malondialdehyde (MDA)
9. Ohkawa
10. Catalase (CAT)
11. Chance
12. Maehly
13. Hydrogen peroxide (H2O2)
14. Alexieva

وزن ساقه، عملکرد دانه بوته، عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)،عملکرد کاه (گرم در واحد پنج بوته)، عملکرد بیولوژیک (گرم در واحد پنج بوته)، شاخص برداشت، وزن سنبله بارور، وزن دانه در سنبله، وزن سنبله‌های بوته، تعداد دانه در سنبلچه، وزن دانه در سنبلچه، وزن سنبلچه بارور، تراکم ساقه، شاخص باروری، عملکرد کاه سنبله (چف یا پوشال)، تراکم سنبله، شاخص برداشت سنبله، سرعت رشد رویشی و سرعت پرشدن دانه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد ریشه اندازه‌گیری شدند. نحوه اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی ریشه در جدول (۳) درج شده است.

جدول ۳. نحوه اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی ریشه در آزمایش

صفات	نحوه اندازه‌گیری صفات
وزن خشک ریشه (گرم)	تحت شرایط گلخانه‌ای، بعد از برداشت بخش‌های هوایی، گلدان‌های حاوی ریشه ژنوتیپ‌ها به حوض مخصوص آب جهت جداکردن ریشه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت منتقل شد و پس از شل شدن خاک، شست‌وشو و جداسازی ریشه‌ها از خاک صورت گرفت. سپس ریشه بوته‌های هر گلدان بعد از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در آون، توزین و میانگین وزن خشک ریشه هر بوته برحسب گرم به‌عنوان وزن خشک ریشه منظور شد.
حجم ریشه (میلی‌لیتر)	تحت شرایط گلخانه‌ای، اندازه‌گیری حجم ریشه از روی جابه‌جایی آب در ظرف مدرج پس از واردکردن ریشه‌های شسته‌شده به داخل آن صورت گرفت و میانگین حجم ریشه هر بوته منظور شد.
تعداد ریشه	تحت شرایط گلخانه‌ای، بعد از جداکردن ریشه بوته‌های هر گلدان، از محل طوقه تعداد ریشه‌های هر بوته شمارش شد و از بوته‌های هر گلدان میانگین گرفته و به‌عنوان تعداد ریشه منظور گردید.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C صورت گرفت. در این پژوهش تجزیه همبستگی کانونیک بین دو گروه صفات ریشه‌ای و صفات عملکرد و اجزای عملکرد انجام گرفت. صفات ریشه‌ای با نماد X در نظر گرفته شد و صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد با نماد Y نشان داده شد. روابط بین صفات و ارتباط بین دو مجموعه از متغیرها توسط روش تجزیه همبستگی کانونیک و با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) موردبررسی قرار گرفت. این روابط برای دو سطح آبیاری (نرمال و تنش) به‌طور جداگانه برای داده‌های محیط گلخانه محاسبه شدند. برای محاسبه همبستگی بین صفات و تجزیه علیت از نرم‌افزارهای SAS (نسخه 9.1) و SPSS (نسخه 23) استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

نتایج تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در جدول (۴) درج شده است. مطابق با جدول (۴)، اثر تنش خشکی در مرحله شروع گل‌دهی بر کلیه صفات به‌جز تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های موردبررسی نیز از لحاظ کلیه صفات به‌جز تعداد ریشه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار داشتند که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا برای این صفات در بین ژنوتیپ‌ها بوده و می‌توان از این تنوع در برنامه گزینش برای مقاومت به تنش خشکی بهره‌برداری کرد (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات مربوط به سطوح تنش، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ× تنش در جدول‌های (۵)، (۶) و (۷) درج شده است. میانگین، دامنه تغییرات و ضریب تغییرات ابزار مفیدی در گزینش فنوتیپی برای اهداف اصلاحی هستند (علوی سینی[1] و صبا[2]، ۲۰۲۱؛ بیات[3] و همکاران، ۲۰۱۸).

1. Alavi Siney
2. Saba
3. Bayat

جدول ٤. تجزیه واریانس صفات مختلف تحت تأثیر ژنوتیپ و سطوح مختلف تنش در ژنوتیپ‌های موردارزیابی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
تنش	۱	۰/۶۴ *	۳۷۹/۹۹ **	۱۱/۹۸ **	۶/۱ ns	۱۶۲۴/۷ **	۱۴۳۴/۱۱ **
خطای اصلی	۴	۰/۱۳ ns	۰/۱۴ ns	۰/۰۵ ns	۳۸/۲ ns	۱۲۹/۹ **	۰/۵۸ ns
ژنوتیپ	۲۹	۰/۲۰ ns	۰/۸۸ **	۰/۵۳ **	۱۶۹/۷ **	۸۴/۴ **	۱/۳۰ **
ژنوتیپ× تنش	۲۹	۰/۲۶ *	۰/۴۰ ns	۰/۲۷ ns	۲۰/۹ ns	۴۰/۰ ns	۰/۴۶ ns
خطای فرعی	۱۱۶	۰/۱۵	۰/۴۰	۰/۲۷	۳۴/۱	۳۰/۷	۰/۳۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۳/۱	۱۳	۱۸/۴	۲۵/۶	۱۹/۰	۱۲/۸

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مربوط به سطوح مختلف تنش خشکی در گلخانه

صفات	سطح تنش	
	شاهد	تنش گل‌دهی
تعداد دانه در سنبله	۲۳/۰ a	۲۲/۶ a
وزن هزاردانه (گرم)	۳۲/۱ a	۲۶/۱ b
تعداد ریشه	۲۷/۸ a	۲۵/۳ b
وزن خشک ریشه (گرم)	۳/۴ b	۶/۳ a
حجم ریشه (میلی‌لیتر)	۸/۲ b	۱۰/۹ a
عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۷/۵ a	۱/۹ b

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ٦. مقایسه میانگین صفات مربوط به ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم

ژنوتیپ‌ها	صفات				
	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)
cd-1	۳۰/۲ a-c	۲۶/۲ d-g	۵/۰ a-e	۱۱/۲ a-i	۴/۹ b-i
cd-2	۲۹/۳ a-d	۲۶/۵ d-g	۵/۳ a-d	۱۱/۴ a-e	۵/۰ a-i
cd-3	۲۸/۸ a-d	۲۹/۸ a-i	۴/۸ b-e	۱۱/۰ b-i	۵/۵ a-c
cd-4	۱۹/۸ e-k	۳۵/۰ a-c	۵/۰ a-e	۱۱/۲ a-i	۵/۱ a-e
cd-5	۰/۲۶ a-g	۳۲/۶ a-e	۴/۵ d-e	۱۰/۷ e-i	۵/۲ a-d
cd-6	۰/۲۵ a-g	۲۵/۶ e-g	۴/۶ d-e	۱۰/۹ c-i	۵/۱ a-i
cd-7	۲۱/۵ d-k	۳۲/۳ a-e	۵/۱ a-e	۱۱/۳ a-i	۴/۷ c-g
cd-8	۱۵/۲ i-k	۳۵/۵ a-b	۴/۸ b-e	۱۱/۰ b-i	۴/۳ e-n
cd-9	۲۶/۵ a-g	۳۱/۷ a-e	۵/۸ a	۱۱/۸ a	۵/۱ a-e
cd-10	۱۴/۰ k	۳۶/۳ a	۴/۸ b-e	۱۱/۱ a-i	۴/۰ g-h
cd-11	۱۴/۵ j-k	۳۳/۹ a-d	۴/۷ c-e	۱۰/۹ c-i	۴/۳ e-n
c-93-3	۲۶/۸ a-i	۲۹/۶ a-g	۴/۹ b-e	۱۱/۲ a-i	۴/۶ d-h
c-93-4	۲۰/۳ e-k	۰/۳۲ a-e	۴/۶ c-e	۱۰/۹ c-i	۴/۷ c-g
c-93-5	۱۸/۳ g-k	۳۰/۹ a-i	۴/۴ e	۱۰/۷ e-i	۴/۴ d-h
c-93-6	۱۸/۸ e-k	۲۹/۴ a-g	۴/۶ c-e	۱۰/۹ c-i	۴/۵ d-h
c-93-7	۲۴/۷ a-g	۲۳/۷ i-g	۵/۱ a-e	۱۱/۰ b-i	۴/۶ d-h
c-93-8	۲۹/۳ a-d	۲۵/۸ e-g	۴/۴ e	۱۰/۷ i	۵/۲ a-d
c-93-9	۱۹/۲ e-k	۲۷/۰ d-g	۴/۵ d-e	۱۰/۸ d-i	۴/۴ d-n
c-93-10	۲۰/۷ e-k	۲۷/۹ b-g	۵/۱ a-e	۱۱/۳ a-i	۴/۳ i-h
c-93-11	۱۳/۵ k	۳۲/۸ a-e	۵/۶ a-b	۱۱/۷ a-b	۳/۸ n
c-94-3	۰/۲۷ a-e	۲۷/۹ b-g	۵/۱ a-e	۱۱/۳ a-i	۵/۵ a-b
c-94-4	۱۵/۷ i-k	۳۰/۶ a-i	۴/۴ e	۱۰/۸ d-i	۴/۶ d-n
c-94-6	۱۸/۷ i-k	۲۷/۰ d-g	۴/۶ c-e	۱۰/۹ c-i	۴/۵ d-n
c-94-7	۲۴/۳ a-g	۲۹/۶ a-g	۴/۸ b-e	۱۱/۱ a-i	۴/۵ d-n
c-94-8	۲۳/۵ a-n	۲۷/۹ b-g	۴/۷ c-e	۱۰/۸ d-i	۴/۴ d-n
c-94-9	۲۵/۲ a-g	۲۳/۲ i-g	۵/۵ a-c	۱۱/۶ a-c	۴/۲ i-n
MV 17	۲۲/۲ c-j	۲۱/۹ g	۴/۷ c-e	۱۱/۰ b-i	۴/۳ i-n
Heydari	۲۳/۲ b-i	۲۹/۱ a-g	۴/۶ c-e	۱۰/۹ c-i	۴/۶ d-h
Mihan	۳۱/۳ a	۲۳/۷ i-g	۵/۳ a-d	۱۱/۵ a-d	۵/۰ a-i
Eroum	۰/۳۱ a-b	۲۷/۲ c-g	۴/۳ e	۱۰/۷ i	۵/۸ a

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات مربوط به اثرات متقابل ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی

ژنوتیپ	نرمال	تنش گل‌دهی	ژنوتیپ	نرمال	تنش گل‌دهی
	تعداد ریشه			تعداد ریشه	
cd-1	۲۷/۰ a-b	۲۶/۰ d-e	c-93-7	۲۶/۷ b-d	۲۶/۶ b-d
cd-2	۲۶/۵ b-d	۲۶/۹ a-c	c-93-8	۲۶/۸ a-d	۲۶/۴ b-e
cd-3	۲۶/۶ b-d	۲۶/۷ b-d	c-93-9	۲۶/۶ b-d	۲۶/۱ c-e
cd-4	۲۶/۲ c-e	۲۶/۴ b-e	c-93-10	۲۶/۶ b-d	۲۶/۷ b-d
cd-5	۲۶/۳ b-e	۲۶/۶ b-d	c-93-11	۲۶/۵ b-d	۲۶/۷ b-d
cd-6	۲۶/۶ b-d	۲۶/۵ b-e	c-94-3	۲۶/۵ b-d	۲۶/۵ b-e
cd-7	۲۷/۰ a-b	۲۶/۶ b-d	c-94-4	۲۶/۱ c-e	۲۶/۴ b-e
cd-8	۲۶/۶ b-d	۲۶/۸ a-c	c-94-6	۲۶/۱ c-e	۲۶/۴ b-e
cd-9	۲۷/۵ a	۲۶/۴ b-e	c-94-7	۲۶/۵ b-e	۲۶/۴ b-e
cd-10	۲۶/۸ a-c	۲۶/۴ b-e	c-94-8	۲۶/۷ b-d	۲۶/۳ b-e
cd-11	۲۶/۸ a-d	۲۶/۳ b-e	c-94-9	۲۶/۴ b-e	۲۶/۷ b-d
c-93-3	۲۶/۵ b-d	۲۶/۱ c-e	MV 17	۲۶/۴ b-e	۲۶/۸ a-d
c-93-4	۲۶/۴ b-e	۲۶/۶ b-d	Heydari	۲۶/۳ b-e	۲۶/۵ b-d
c-93-5	۲۶/۴ b-e	۲۶/۳ b-e	Mihan	۲۶/۶ b-d	۲۶/۶ b-d
c-93-6	۲۷/۰ a-b	۲۶/۲ c-e	Eroum	۲۶/۴ b-e	۲۵/۷ e

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

با مراجعه به جدول (۶) مشاهده گردید که بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ‌های cd-10 (۳۶/۳ گرم) و cd-8 (۳۵/۵ گرم) و کم‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ MV17 (۲۱/۹ گرم) بود. از سوی دیگر وزن هزاردانه در شرایط نرمال (۳۲/۱ گرم) بیش‌تر از مقدار آن در شرایط تنش خشکی در مرحله شروع گل‌دهی (۲۶/۱ گرم) بود (جدول ۵). نتایج فوق نشان داد که بیش‌ترین اثر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی در بین اجزای عملکرد بر روی صفت وزن هزاردانه بوده است.

ژنوتیپ‌های اروم، c-94-3 و cd-3 به‌ترتیب با میانگین ۵/۸، ۵/۶ و ۵/۵ گرم در واحد پنج بوته، بالاترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های c-94-9، c-93-11 و cd-10 به‌ترتیب با میانگین ۴/۲، ۳/۸ و ۴/۰ گرم در واحد پنج بوته کم‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). از سوی دیگر، عملکرد دانه تحت شرایط نرمال ۷/۵ گرم در واحد پنج بوته بود که از عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی (۱/۹ گرم در واحد پنج بوته) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). تنش خشکی در زمان شروع گل‌دهی روی اجزای عملکرد، به‌ویژه وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته تأثیر منفی داشته و باعث کاهش آن‌ها می‌شود.

ژنوتیپ‌های میهن و اروم با میانگین ۳۱/۳ و ۳۱ دانه در سنبله بیش‌ترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد کاه، عملکرد دانه، طول ریشک نیز برتر بودند. ژنوتیپ‌های c-93-11، cd-10 و cd-11 با میانگین ۱۳/۵، ۱۴ و ۱۴/۵ دانه در سنبله پایین‌ترین مقدار را برای این صفت دارا بود (جدول۶). یافته‌های جدول (۵) نشان داد که بین شرایط نرمال و شرایط تنش خشکی از لحاظ تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. چنین به‌نظر می‌رسد که پتانسیل تشکیل دانه در سنبله از مراحل قبل از گل‌دهی شکل می‌گیرد. با این وجود آبیاری در مراحل پس از ساقه‌دهی از طریق تأثیر در لقاح می‌تواند تعداد دانه در سنبله را افزایش دهد. ژنوتیپ‌هایی که برای تعداد دانه در سنبله پایداری نشان می‌دهند، اغلب تحت تنش خشکی، تحمل بیش‌تری از خود نشان می‌دهند (ریاض[1] و چودای[2]، ۲۰۰۳).

1. Riaz
2. Chowdhry

وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های cd-9 و c-93-11 بیش‌ترین مقدار (به‌ترتیب ۵/۹ و ۵/۶ گرم) و در ژنوتیپ‌های c-94-4، c-93-8، c-93-5 و cd-5 کم‌ترین مقدار (به‌ترتیب ۴/۴، ۴/۴، ۴/۴، ۴/۵ گرم) بود (جدول ۶). از سوی دیگر وزن خشک ریشه در شرایط نرمال کم‌ترین مقدار (۳/۴ گرم) و در شرایط تنش خشکی در مرحله شروع گل‌دهی بیش‌ترین مقدار (۶/۳ گرم) بود (جدول ۵). ریشه‌ها اولین اندامی هستند که تنش کمبود آب را احساس می‌کنند. بنابراین بافت‌های گیاهی مهمی برای مطالعه تنش خشکی به‌شمار می‌آیند (دوارشی[1] و چوپرا[2]، ۲۰۱۰). تورچی[3] و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی روی ژنوتیپ‌های برنج تحت اثر تنش رطوبتی دریافتند که در اثر تنش کمبود آب به حجم ریشه افزوده می‌شود و به‌دنبال آن در اثر حجیم‌شدن ریشه، وزن خشک ریشه افزایش می‌یابد.

ژنوتیپ cd-9 با میانگین ۱۱/۸ میلی‌لیتر بالاترین حجم ریشه را دارا بود (جدول ۶). حجم ریشه در شرایط نرمال کم‌ترین مقدار (۸/۴ میلی‌لیتر) و در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین مقدار (۸/۹ میلی‌لیتر) بود (جدول ۵). در این آزمایش حجم ریشه در شرایط تنش کمبود آب افزایش یافت.

اثر متقابل ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی برای صفت تعداد ریشه معنی‌دار بود که بیانگر تأثیر متقابل ژنوتیپ و محیط برای این صفت می‌باشد (جدول ۷). براساس جدول (۷) تحت شرایط نرمال ژنوتیپ cd-9 بیش‌ترین تعداد ریشه (۲۷/۵)، درحالی‌که تحت شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ اروم با میانگین ۲۵/۷ کم‌ترین تعداد ریشه را داشت. گیاهانی با طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی بیش‌تر، مقاومت و تحمل بیش‌تری به کم‌آبی دارند (سینگ[4] و همکاران، ۲۰۰۰).

۴. ۲. تجزیه علیت عملکرد دانه با سایر صفات

تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی صفات مالون‌دی‌آلدهید، غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای پروتئین محلول، ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه و سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار داشته و در معادله باقی ماندند (جدول ۸). صابری و همکاران (۱۳۹۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین صفات ارتفاع گیاه و طول سنبله با صفت عملکرد دانه نشان دادند. کومار[5] و همکاران (۲۰۱۴) نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار عملکرد دانه در گیاه را با تعداد دانه در گیاه و شاخص برداشت در هر دو سطح فنوتیپی و ژنوتیپی بیان داشتند.

تجزیه علیت عملکرد دانه (جدول ۸) نشان داد که صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۷۱-) و سرعت رشد رویشی (۰/۵۶) به‌ترتیب بیش‌ترین اثر مستقیم منفی و مثبت را بر عملکرد دانه داشتند. با توجه به اثرات مستقیم و قابل‌ملاحظه تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه، می‌توان از این صفات به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول استفاده کرد. اثر مستقیم مالون‌دی‌آلدهید، کاروتنوئید و وزن هزاردانه بر عملکرد دانه منفی و اثر مستقیم غلظت کلروفیل a، طول پدانکل بر عملکرد دانه منفی بود. اثرات غیرمستقیم غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، کاروتنوئید، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه و سرعت رشد رویشی از طریق مالون‌دی‌آلدهید بر عملکرد دانه و اثرات غیرمستقیم غلظت کلروفیل b، مساحت برگ

1. Devarshi
2. Chopra
3. Toorchi
4. Singh
5. Kumar

پرچم، وزن هزاردانه و سرعت رشد رویشی از طریق غلظت کلروفیل a بر عملکرد دانه مثبت‌تر بود ولی اثرات غیرمستقیم صفات محتوای پروتئین محلول، طول پدانکل از طریق غلظت کلروفیل a بر عملکرد دانه منفی بود. اثرات غیرمستقیم صفات مالون‌دی‌آلدهید، مساحت برگ پرچم و سرعت رشد رویشی از طریق تعداد روز گاه ۵۰ درصد گل‌دهی بر عملکرد دانه به‌ترتیب منفی، مثبت و مثبت بود.

اثرات غیرمستقیم صفات مالون‌دی‌آلدهید و تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی از طریق سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود. صفات غلظت کلروفیل a، مساحت برگ پرچم و وزن هزاردانه دارای اثرات غیرمستقیم مثبت از طریق سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه بودند (جدول ۸).

همبستگی عملکرد دانه با صفات غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، کاروتنوئید، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه و سرعت رشد رویشی مثبت و با صفات مالون‌دی‌آلدهید، طول پدانکل و تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی منفی بود (جدول ۸). هر چقدر گل‌دهی دیرتر باشد گرده‌افشانی و دوره پرشدن دانه با گرمای هوا و تنش خشکی مواجه شده، درنتیجه تعداد دانه و وزن هزاردانه کاهش می‌یابد و منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد. طول پدانکل در شرایط تنش خشکی آخر فصل یک مزیت محسوب می‌شود، اما با توجه به ارتباط منفی این صفت با طول دوره رسیدن گیاه باعث کاهش عملکرد می‌گردد. تنش خشکی درنهایت با تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن منجر به ایجاد تنش ثانوی اکسیداتیو می‌شود که در این شرایط رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشا شده و منجر به تولید ترکیباتی مثل مالون‌دی‌آلدهید که محصول پراکسیداسیون لیپیدهای غشاست، می‌شود و در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد به‌دلیل کاهش فتوسنتز و موارد متعدد کاهش می‌یابد.

با توجه به اثر مستقیم قابل‌ملاحظه تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، مالون‌دی‌آلدهید و سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه می‌توان از صفات فوق به‌عنوان شاخص مناسب جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول استفاده کرد. کومار[1] و همکاران (۲۰۱۴) و جانمحمدی[2] و همکاران (۲۰۱۴) با تجزیه ضرایب علیت برای عملکرد دانه با سایر صفات در شرایط نرمال، گزارش کردند که صفات عملکرد سنبله تک بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه اثرات مستقیم مثبت و بالایی بر عملکرد دانه داشتند که مطابق با نتایج این پژوهش می‌باشد. طبق نتایج پژوهش‌های عطا[3] و همکاران (۲۰۱۴)، تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال دارای اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه بود. در گزارش دیگری ملاصادقی[4] و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند که تعداد دانه در سنبله (۰/۲۱۲)، وزن دانه (۰/۴۰۸)، وزن هزاردانه (۰/۰۹۳) و عملکرد بیولوژیکی (۰/۸۵۳) بیش‌ترین اثرات مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشتند.

۴. ۳. تجزیه همبستگی کانونیک عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای تحت شرایط نرمال در گلخانه

با توجه به جدول (۹) آماره لامبدای ویلکاکس در سطح احتمال ۱ درصد برای تابع اول معنی‌دار گردید، یعنی همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد از یک طرف و صفات ریشه‌ای از سوی دیگر در تابع اول وجود دارد.

1. Kumar
2. Janmohammadi
3. Ata
4. Mollasadeghi

جدول ۸. تجزیه ضرایب همبستگی ساده بین صفات باقیمانده در مدل رگرسیون عملکرد دانه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم

صفات	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم از طریق										همبستگی ساده صفات با عملکرد دانه
		غلظت مالون دی آلدهید (a)	غلظت کلروفیل a (b)	غلظت کلروفیل b (b)	غلظت کاروتنوئید (b)	محتوای پروتئین محلول (b)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (روز)	مساحت برگ پرچم (سانتی‌متر مربع)	وزن هزاردانه (گرم)	سرعت رشد رویشی (گرم در روز)	
غلظت مالون‌دی‌آلدهید (a)	-۰/۴۴	–	-۰/۲۰	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱۳	-۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۱۸	-۰/۴۴	۰/۷۷**
غلظت کلروفیل a (b)	۰/۳۲	۰/۲۸	–	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۶	۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۵۰*
غلظت کلروفیل b (b)	-۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۲۰	–	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۱۵	۰/۱۷	-۰/۰۳	-۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۳۰
غلظت کاروتنوئید (b)	-۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۵	-۰/۰۱	–	-۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۷	۰/۶۰	-۰/۰۳	-۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۴۹*
محتوای پروتئین محلول (b)	۰/۰۸	-۰/۱۵	-۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۰۱	–	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۰۳
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۰۲	–	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۰
طول پدانکل (سانتی‌متر)	۰/۲۵	-۰/۲۲	-۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۶	-۰/۰۱	–	-۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۳۹
تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (روز)	-۰/۷۱	-۰/۲۳	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۳	-۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۱۰	–	۰/۰۴	۰/۱۳	-۰/۳۵	-۰/۷۳**
مساحت برگ پرچم (سانتی‌مترمربع)	-۰/۰۷	۰/۳۸	۰/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۱۵	۰/۴۵	–	-۰/۱۸	۰/۵۳	۰/۹۴**
وزن هزاردانه (گرم)	-۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۱۴	۰/۴۶	-۰/۰۶	–	۰/۵۱	۰/۸۶**
سرعت رشد رویشی (گرم در روز)	۰/۵۶	۰/۳۴	۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۱۱	۰/۴۵	-۰/۰۶	-۰/۱۸	–	۰/۹۷**

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند. ۰/۳۹= باقیمانده

mgr/grFW (b nmol/gr FW (a

جدول ۹. مقادیر همبستگی بین جفت متغیرهای کانونیک ۳۰ ژنوتیپ گندم در دو سطح تنش

سطح تنش	مقادیر F	سطح احتمال معنی‌داری F	ضریب همبستگی کانونیک	نسبت تجمعی
نرمال	۸۳/۲۴	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹
	۶۸/۰	۰/۷۴۰۰	۰/۴۵۱	۰/۹۹
	۷۱/۰	۰/۵۹۵۰	۰/۳۷۹	۰/۰۱
تنش	۷۷/۳	۰/۰۰۱۰	۰/۸۴۷	۰/۹۵
	۶۲/۰	۰/۶۵۰۰	۰/۳۴۵	۰/۰۱
	۰۰۲/۰	۰/۹۶۸۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱

ترکیب خطی برای تابع اول از متغیرهای ریشه‌ای (V_i) و عملکرد و اجزای عملکرد (W_i) موردمطالعه همراه با ضرایب مربوطه (a_{ij} و b_{ik}) به‌صورت زیر به‌دست آمد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱):

رابطهٔ ۱) $W_1 = -0.22\ X_1 + 0.09\ X_2 - 0.14$

رابطهٔ ۲) $V_1 = 0.03\ Y_1 - 1.33\ Y_2 + 0.67\ Y_3$

همبستگی ساختاری بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک مربوط به همان گروه در جدول‌های (۱۲) و (۱۳) درج شده است. در بین صفات ریشه‌ای، وزن خشک ریشه (-۰/۸۷) همبستگی منفی و بالایی با تابع کانونیک مربوطه (V_1) نشان داد ولی حجم ریشه (-۰/۲۳) دارای همبستگی پایین بود. در بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه با تابع کانونیک مربوطه (W_1) مشاهده شد، اما وزن هزاردانه (۰/۲۸)

دارای همبستگی مثبت و پایین بود. از سوی دیگر تعداد دانه در سنبله (۰/۰۲-) با تابع کانونیک مربوطه (W_1) همبستگی پایین و منفی داشت.

جدول ۱۰. ضریب کانونیک استانداردشده برای توابع کانونیک مربوط به متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد ۳۰ ژنوتیپ گندم در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	W_1	W_2	W_3
	تعداد دانه در سنبله	-۰/۲۲	-۱/۷۱	۰/۷۲
نرمال	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۰/۰۹	۰/۵۳	۲/۷۴
	وزن هزاردانه (گرم)	-۰/۱۴	-۰/۳۶	۰/۰۶
	تعداد دانه در سنبله	۰/۲۰	۱/۹۴	۰/۱۴
تنش	وزن هزاردانه (گرم)	۰/۸۷	-۰/۷۲	-۱/۰۴
	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	-۰/۰۵	-۱/۲۰	۱/۲۸

جدول ۱۱. ضریب کانونیک استانداردشده برای توابع کانونیک مربوط به صفات ریشه ای ۳۰ ژنوتیپ گندم در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	V_1	V_2	V_3
	تعداد ریشه	۰/۰۳	-۱/۱۳	-۰/۱۴
نرمال	وزن خشک ریشه (گرم)	-۱/۳۳	-۰/۳۵	۰/۲۷
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	۰/۶۷	۰/۸۵	-۱/۰۹
	تعداد ریشه	۰/۱۸	-۰/۶۶	۰/۹۱
تنش	وزن خشک ریشه (گرم)	-۱/۲۸	-۰/۵۳	۰/۲۲
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	۰/۵۸	۱/۴۲	۰/۰۵

جدول ۱۲. همبستگی ساختاری بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد و توابع کانونیک مربوطه در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	W_1	W_2	W_3
	تعداد دانه در سنبله	-۰/۰۲	-۰/۲۱	۰/۶۵
نرمال	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۳۵
	وزن هزاردانه (گرم)	۰/۲۸	۰/۰۸	-۰/۰۴
	تعداد دانه در سنبله	۰/۸۲	۰/۴۰	۰/۴۱
تنش	وزن هزاردانه (گرم)	۰/۹۹	-۰/۱۰	-۰/۰۶
	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۰/۷۲	-۰/۱۳	۰/۶۹

جدول ۱۳. همبستگی ساختاری بین صفات ریشه‌ای و توابع کانونیک مربوطه در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	V_1	V_2	V_3
	تعداد ریشه	۰/۱۰	-۰/۸۱	-۰/۵۸
نرمال	وزن خشک ریشه (گرم)	-۰/۸۷	۰/۰۴	-۰/۵۰
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	-۰/۲۳	۰/۱۲	-۰/۹۷
	تعداد ریشه	۰/۲۱	-۰/۱۲	۰/۹۷
تنش	وزن خشک ریشه (گرم)	-۰/۸۵	۰/۳۴	۰/۴۱
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	-۰/۲۲	۰/۷۷	۰/۶۰

همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک گروه دیگر در جدول‌های (۱۴) و (۱۵) درج

شده است. در بین متغیرهای صفات ریشه‌ای، وزن خشک ریشه همبستگی منفی و بالایی با تابع کانونیک مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد (W_1) داشت، اما حجم ریشه دارای همبستگی پایین بود.

در بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه (۰/۹۳) با تابع کانونیک مربوط به صفات ریشه‌ای (V_1) وجود داشت، اما وزن هزاردانه دارای همبستگی پایین و مثبت بود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت تابع W_1 بیش‌تر متأثر از وزن خشک ریشه در درجه اول و حجم ریشه در درجه دوم می‌باشد، اما تابع V_1 بیش‌تر تحت تأثیر عملکرد دانه بود. در چنین شرایطی برای افزایش عملکرد دانه، صفت وزن خشک ریشه در درجه اول و صفت حجم ریشه در درجه دوم می‌توانند به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب در نظر گرفته شوند.

جدول ۱٤. همبستگی متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد با توابع کانونیک حاصل از صفات ریشه‌ای در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	V_1	V_2	V_3
	تعداد دانه در سنبله	−۰/۰۲	−۰/۱۰	۰/۲۵
	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۱۳
نرمال	وزن هزاردانه (گرم)	۰/۲۸	۰/۰۴	−۰/۰۱
	تعداد دانه در سنبله	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۰۰۴
تنش	وزن هزاردانه (گرم)	۰/۸۴	−۰/۰۳	−۰/۰۰۱
	عملکرد دانه (گرم در واحد پنج بوته)	۰/۶۱	−۰/۰۴	۰/۰۱

جدول ۱۵. همبستگی صفات ریشه ای با تابع کانونیک حاصل از متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد در دو سطح تنش

سطح تنش	صفات	W_1	W_2	W_3
	تعداد ریشه	۰/۱۰	−۰/۳۷	−۰/۲۲
نرمال	وزن خشک ریشه (گرم)	−۰/۸۶	۰/۰۲	−۰/۱۹
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	−۰/۲۳	۰/۰۵	−۰/۳۷
	تعداد ریشه	۰/۱۸	−۰/۰۴	۰/۰۱
تنش	وزن خشک ریشه (گرم)	−۰/۷۲	۰/۱۲	۰/۰۰۴
	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	−۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۰۱

۴. ۴. تجزیه همبستگی کانونیک عملکرد و اجزای عملکرد با صفات ریشه‌ای تحت شرایط تنش در گلخانه

با توجه به جدول (۹) آماره لامبدای ویلکاکس در سطح احتمال ۱ درصد برای تابع اول معنی‌دار گردید، یعنی همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد از یک طرف و صفات ریشه‌ای از سوی دیگر در تابع اول وجود دارد.

ترکیب خطی برای تابع اول از متغیرهای ریشه‌ای (V_i) و عملکرد و اجزای عملکرد (W_i) موردمطالعه با ضرایب مربوطه (a_{ij} و b_{ik}) به‌صورت زیر به‌دست آمد (جداول ۱۰ و ۱۱):

رابطهٔ ۳) $V_1 = 0.18\ X_1 - 1.28\ X_2 + 0.58\ X_3$

رابطهٔ ۴) $W_1 = 0.20\ Y_1 + 0.87\ Y_2 - 0.05\ Y_3$

همبستگی ساختاری بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک مربوط به همان گروه در جدول‌های (۱۲) و (۱۳) درج شده است. در بین صفات ریشه‌ای، وزن خشک ریشه (−۰/۸۵) همبستگی منفی و بالایی با تابع کانونیک مربوطه (V_1) نشان داد ولی حجم ریشه (−۰/۲۲) و تعداد ریشه (۰/۲۱) دارای همبستگی پایین بودند. در بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت و بالایی بین وزن هزاردانه (۰/۹۹)، تعداد دانه در سنبله (۰/۸۲) و عملکرد دانه (۰/۷۲) با تابع کانونیک مربوطه (W_1) مشاهده‌شده.

همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک گروه دیگر در جدول‌های (۱۴) و (۱۵) درج شده است. در بین متغیرهای صفات ریشه‌ای، وزن خشک ریشه (۰/۷۲-) همبستگی منفی و بالایی با تابع کانونیک مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد (W_1) داشت، اما حجم ریشه (۰/۱۸-) و تعداد ریشه (۰/۱۸) دارای همبستگی پایین بود. در بین متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد هر سه متغیر وزن هزاردانه (۰/۸۴)، تعداد دانه در سنبله (۰/۶۹) و عملکرد دانه (۰/۶۱) همبستگی مثبت و بالایی با تابع کانونیک مربوط به صفات ریشه‌ای (V_1) داشتند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت تابع W_1 بیش‌تر متأثر از وزن خشک ریشه می‌باشد، اما تابع V_1 تحت تأثیر هر سه متغیر عملکرد و اجزای عملکرد (وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه) بود. در چنین شرایطی برای افزایش وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و در نهایت عملکرد دانه، صفت وزن خشک ریشه در درجه اول و صفات حجم ریشه و تعداد ریشه در درجه دوم می‌توانند به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب در نظر گرفته شوند.

۵. بحث

همبستگی بین صفات در اصلاح نباتات از اهمیت ویژه‌ای برخودار است، زیرا میزان و نوع رابطه بین دو یا چند صفت را معین می‌کند (پور مرادی و میرزایی ندوشن، ۱۳۸۹). با استفاده از تجزیه علیت مشخص می‌شود که همبستگی صفات با عملکرد به‌علت اثر مستقیم آن‌ها بر روی عملکرد و یا در نتیجه‌ی اثر غیرمستقیم از طریق سایر صفات است. اگر همبستگی بین عملکرد و یک صفت به‌علت اثر مستقیم آن صفت باشد، این مطلب منعکس‌کننده یک رابطه واقعی بین آن‌هاست و لذا می‌توان صفت مذکور را به‌منظور اصلاح عملکرد انتخاب نمود. اما اگر این همبستگی اصولاً به‌علت اثر غیرمستقیم صفت از طریق صفات دیگر باشد، در این صورت عمل انتخاب را باید بر روی صفتی انجام داد که سبب اثر غیرمستقیم شده است (نصری و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مؤثرترین رویکردها برای اصلاح نباتات گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه از طریق سایر صفات می‌باشد (صبا و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج تجزیه علیت نشان داد صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، سرعت رشد رویشی و مالون‌دی‌آلدهید به‌دلیل اثرات مستقیم قابل‌ملاحظه و هم‌چنین صفات سرعت رشد رویشی، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی در درجه اول و صفات غلظت کلروفیل a، میزان کاروتنوئید و طول پدانکل در درجه دوم به‌دلیل همبستگی بیش‌تر با عملکرد دانه می‌توانند به‌عنوان شاخص های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ های پرمحصول و متحمل به تنش خشکی استفاده شوند. در تطابق با نتیجه پژوهش حاضر، جانمحمدی[1] و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که بین عملکرد دانه و صفات تعداد سنبلچه، قطر دانه، طول دانه و وزن هزاردانه همبستگی مثبت وجود دارد. خان[2] و نکوی[3] (۲۰۱۲) براساس تجزیه ضرایب علیت اعلام کردند که انتخاب براساس تعداد سنبله، تعداد سنبلچه و تعداد دانه می‌تواند به‌علت اثرات مستقیم و مثبت آن‌ها بر عملکرد دانه در شرایط نرمال، مفیدترین صفات برای افزایش عملکرد دانه باشند. آبیناسا[4] و همکاران (۲۰۱۱) و احمدیزاده[5] و همکاران (۲۰۱۱)، بر اثر مستقیم و مثبت بیوماس روی عملکرد دانه در گندم تحت شرایط تنش خشکی تأکید داشتند. حمزه و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی صفت بیوماس و وزن هزاردانه بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت را بر روی عملکرد دانه نشان داده‌اند.

1. Janmohammadi
2. Khan
3. Naqvi
4. Abinasa
5. Ahmadizadeh

تحت شرایط آبیاری مطلوب در گلخانه، بین وزن خشک ریشه و تابع کانونیکی مربوطه (V_1) همبستگی منفی و بیش‌تر و بین عملکرد دانه و متغیر کانونیکی مربوطه (W_1) همبستگی مثبت و بالایی مشاهده گردید. بنابراین در چنین شرایطی برای افزایش عملکرد دانه، صفت وزن خشک ریشه می‌تواند به‌عنوان معیار مناسب در نظر گرفته شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده تحت شرایط تنش رطوبتی در گلخانه، بین وزن خشک ریشه و متغیر کانونیکی مربوطه (V_1) و هم‌چنین بین وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه و متغیر کانونیکی مربوطه (W_1) همبستگی مثبت و بالایی مشاهده شد. چنین به‌نظر می‌رسد تحت شرایط تنش در گلخانه برای افزایش وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه، صفت وزن خشک ریشه می‌تواند به‌عنوان معیار مناسب در نظر گرفته شود. غفاری[1] و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تجزیه همبستگی کانونی ارتباط معنی‌داری بین دو دسته صفات فیزیولوژیک و زراعی به‌ترتیب در گیاه گندم و کلزا گزارش کردند. صبا[2] و همکاران (۲۰۱۸) نیز از این تکنیک برای بررسی ارتباط بین صفات زراعی و فنولوژیک گیاه گندم بهره بردند. صبا و همکاران (۲۰۱۸) در تجزیه همبستگی کانونیکی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فنولوژیکی با صفات اجزای عملکرد، گزارش کردند که اولین متغیر کانونیکی برای صفات مستقل (U_1) بیش‌تر تحت تأثیر بیوماس گیاه (۰/۶۷) قرار گرفت و صفات دمای کانوپی، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد روز تا سنبله‌دهی دارای ضریب همبستگی پایین بودند. علوی سینی و صبا (۱۳۹۳) با تجزیه همبستگی کانونی صفات زراعی، سه متغیر کانونی معنی‌دار به‌دست آوردند که متغیرهای کانونی معنی‌دار ۳۰ درصد از واریانس کل متغیرها را توجیه نمودند. هم‌چنین آن‌ها همبستگی اولین، دومین و سومین جفت متغیر کانونی را به‌ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۴ و ۰/۷۴ گزارش کردند که اولین متغیر کانونی با توجیه ۱۳/۲ درصد از تنوع متغیرهای زراعی با صفات درصد اختصاص ماده خشک به برگ، ارتفاع و شاخص برداشت رابطه منفی و با بقیه صفات زراعی رابطه مثبت داشت (علوی سینی و صبا، ۱۳۹۳). اتیشا[3] و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تجزیه همبستگی کانونیک در جو اعلام کردند که صفاتی که دارای مقادیر و ارزش‌های بالاتری در مؤلفه اول هستند، می‌توانند به‌خوبی در متمایزکردن ارقام از یکدیگر ایفای نقش کنند و از این‌رو توجه به مقدار عددی صفات در مؤلفه‌ها را مهم دانستند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج همبستگی و تجزیه علیت، صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، سرعت رشد رویشی، مالون‌دی‌آلدهید، مساحت برگ پرچم، وزن هزاردانه، محتوای کلروفیل a، میزان کاروتنوئید و طول پدانکل می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول استفاده شوند. هم‌چنین از روی نتایج تجزیه همبستگی کانونیک، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحت شرایط نرمال در گلخانه جهت افزایش عملکرد دانه، صفات وزن خشک ریشه و حجم ریشه و در شرایط تنش در گلخانه جهت افزایش وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه، صفات وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد ریشه می‌توانند به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب در نظر گرفته شوند. پیشنهاد می‌شود این آزمایش با تعداد ارقام بیش‌تر، در چند مکان و طی سال‌های مختلف و در شرایط مزرعه‌ای انجام گیرد تا نتایج قابل تعمیم به سایر ارقام، مکان‌ها و شرایط آب‌وهوایی مختلف باشد.

1. Ghaffari
2. Saba
3. Eticha

۷. تشکر و قدردانی

از مسئولین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی که ژنوتیپ‌های موردمطالعه برای انجام این پژوهش را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

پور مرادی، صادق و میرزایی ندوشن، حسین (۱۳۸۹). تجزیه علیت صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد علوفه در جمعیت‌هایی از جنس لولیوم (*Lolium* spp.). *نشریه تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران*، ۱۸(۲)، ۲۹۴-۳۰۴.

حمزه، حمزه؛ صبا، جلال؛ جابری، فرهاد؛ نصیری، جابر و علوی سینی، سید محمد (۱۳۸۸). برآورد اجزای واریانس، قابلیت توارث و ضرایب همبستگی صفات فنوتیپی و ژنوتیپی عملکرد دانه و اجزای آن در گندم نان تحت شرایط دیم. *نشریه تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی*، ۲(۱)، ۲۹-۳۸.

خدادادی، مصطفی؛ دهقانی، حمید و فتوکیان، محمدحسین (۱۳۹۰). بررسی توارث‌پذیری، تجزیه علَیت و تحلیل عامل‌ها در ژنوتیپ‌های گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.). *مجله دانش زراعت*، ۴(۴)، ۶۷-۷۸.

صابری، محمدحسین؛ آرزمجو، الیاس و امینی، اشکبوس (۱۳۹۵). ارزیابی تنوع و شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد لاین‌های امیدبخش گندم نان تحت تنش شوری. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۸(۲۰)، ۳۱-۴۰.

طالبی‌فر، منظر؛ تقی‌زاده، رضا و کمالی کیوی، سید ابراهیم (۱۳۹۴). تعیین روابط میان عملکرد دانه و اجزای عملکرد در ارقام گندم تحت شرایط تنش قطع آب در مراحل رشد از طریق تجزیه علیت. *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۸(۱۰۸)، ۱۰۷-۱۱۳.

علوی سینی، سید محمد و صبا، جلال (۱۳۹۳). بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط دیم با استفاده از تجزیه همبستگی کانونی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۷(۱)،۱۳-۲۳.

نصری، رضا؛ پاک‌نژاد، فرزاد؛ صادقی شعاع، مهدی؛ قربانی، صادق و فاطمی، زینب (۱۳۹۱). مطالعهٔ همبستگی صفات و تجزیه علیت تنش خشکی بر روی عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare*) در منطقهٔ کرج. *نشریهٔ زراعت و اصلاح نباتات ایران*، ۸(۴)، ۱۵۵-۱۶۵.

References

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S. T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Jiang, D., & Dai, T. (2016). Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and -sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, *106*(1), 218-227.

Abinasa, M., Ayana, A., & Bultosa, G. (2011). Genetic variability, heritability and trait associations in durum wheat (*Triticum turgidum* L. *var. durum*) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(17), 3972-3979.

Ahmadizadeh, M., Shahbazi, H., Valizadeh, M., & Zaefizadeh, M. (2011). Genetic diversity of durum wheat landraces using multivariate analysis under normal irrigation and drought stress conditions. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(10), 2294-2302.

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*(1), 13-23. (In Persian).

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.

Alexieva, V., Sergei, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell Environment*, *24*, 1337-1344.

Alqudah, A. M., Samarah, N. H., & Mullen, R. E. (2011). Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. In *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilization*. Edited by Lichtfouse, E. Dordrecht: Springer Press. Pp 193-213.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal, 23,* 112-121.

Ata, A., Yousaf, B., Khan, A. S., Mahboob Subhani, G., Asadullah, H. M., & Yousaf, A. (2014). Correlation and path coefficient analysis for important plant attributes of spring wheat under normal and drought stress conditions. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 4,* 23-28.

Bates, L., Waldrem, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free praline for water stress studies. *Plant and Soil, 39,* 205-207.

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*(3), 971-982.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72,* 248.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidases. *Method Enzymol, 11,* 764-755.

Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khaliltahmasebi, B., & Nabati, E. (2013). Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. *Advances in Environmental Biology, 7*(4), 619-624.

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE, 11*(5), 0156362.

Devarshi, S., & Khanna-Chopra, R. (2010). Antioxidant response of wheat roots to drought acclimation. *Journal of Proteomics, 245*(1-4), 153-163.

Eticha, F., Belay, G., & Bekele, E. (2006). Species diversity in wheat landrace populations from two regions of Ethiopia. *Genetic Resources Crop Evolution, 53,* 387-393.

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., & Saud, S. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science, 8,* 1-16 .

FAO. (2020). Food and Agriculture Organization. World food situation, Available at: http://www.fao.org/ worldfoodsituation/csdb/en/.

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*(3), 338-350.

Hamze, H., Saba, J., Jabari, F., Nassiri, J., & Alavi Siney, S. M. (2008). Estimation of components variation, genotypic and phenotypic correlation coefficients of grain yield and its component in bread wheat (*Tritium aestivum* L.) under rainfed conditions. *Environment Stresses in Agriculture Science, 2*(1), 29-38. (In Persian).

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica, 54*(1), 87-92.

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.

Janmohammadi, M., Sabaghnia, N., & Nouraein, M. (2014). Path analysis of grain yield and yield components and some agronomic traits in bread wheat. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 62,* 945-952.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall.

Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence. *Plant Physiology, 57,* 315-319.

Khan, N., & Naqvi, F. N. (2012). Correlation and path coefficient analysis in wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. *Asian Journal of Agricultural Sciences, 4,* 346-351.

Khodadadi, M., Dehghani, H., & Fotokian, M. H. (2011). Study of heritability, path and factor analysis in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Journal of Agriculture, 9,* 66-67. (In Persian).

Kovacik, J., Klejdus, B., Babula, P., & Jarosova, M. (2014). Variation of antioxidants and secondary metabolites in nitrogen-deficient barely plants. *Journal of Plant Physiology, 171,* 260-268.

Kumar, R., Bhushan, B., Pal, R., & Gaurav, S. S. (2014). Correlation and path coefficient analysis for quantitative traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under normal condition. *Annals of Agri Bio Research, 19,* 447-450.

Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., & Bekkaoui, F. (2018). Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry, 6*(26), 1-14.

Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Miller, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell and Environment, 33*(4), 453-467.

Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., Deihimfard, R., & Noori, O. (2020). Yield gap analysis simulated for sugar beet-growing areas in water-limited environments. *European Journal of Agronomy, 113,* 125988.

Mollasadeghi, V., Imani, A. A., Shahryari, R., & Khayatnezhad, M. (2011). Correlation and path analysis of morphological traits in different wheat genotypes under end drought stress condition. *Middle-East Journal of Scientific Research, 7,* 221-224.

Nasri, R., Paknejad, F., Sadeghi Shoa, M., Ghorbani, S., & Fatemi, Z. (2013). Correlation and path analysis of drought stress on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare*) in Karaj region. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8,* 155-165 (In Persian).

Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. (1979). Assay for lipid peroxidation in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Annals of Biochemistry, 95,* 351-358.

Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on Plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 60*(3), 324-349.

Pordel-Maragheh, F. (2013). Assess the genetic diversity in some wheat genotypes through agronomic traits. *European Journal of Zoological Research, 2,* 71-75.

Pourmoradi, S., & Mirzaie-Nodoushan, H. (2011). Path analysis of morphological traits and forage yield on several populations of Lolium species. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 18,* 294-304. (In Persian).

Riaz, R., & Chowdhry, M. A. (2003). Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought *condition. Asian Journal of Plant Sciences, 2,* 790-796.

Saba, J., Tavana, S., 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. *Journal of Agricultural Science and Technology, 20*(5), 1037-1048.

Saberi, M. H., Arazmjoo, E., & Amini, A. (2017). Assessment of Diversity and Identifying of Effective Traits on Grain Yield of bread wheat Promised Lines under Salt Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding, 8*(20), 31-40. (In Persian).

Saeidi, M., & Abdoli, M. (2015). Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology, 17*(4), 885-898.

Singh, D. N., Massod Ali, R. I., & Basu, P. S. (2000, August). Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influences of chickpea to drought. In *3rd International Crop Science Congress*. Hamburg, Germany.

Talebifar, M., Taghizadeh, R., & Kamal kivi, S. E. (2014). Determination of relationships between yield and yield components in wheat varieties under water deficit stress in different growth stages through Path analysis. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 28*(108), 107-113. (In Persian).

Toorchi, M., Shashidhar, H. E., & Sridhara, H. (2006). Influence of the Root System on Grain Yield and Related Characters in Rainfed Lowland Rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences, 9*(12), 2267-2272.

Topal, A., Aydin, C., Akgun, N., & Babaoglu, M. (2004). Diallel cross analysis in durum wheat (*Triticum durum* Desf.): identification of best parents for some kernel physical features. *Field Crops Research, 87*(1), 1-12.