Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 2, 2024 p: 1-13

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Relationships between Stomatal Dimensions and Density with the Root System in Bread Wheat Cultivars and Lines under Rainfed Conditions

Ramin Sadegh Ghol Moghadam[1], Jalal Saba[2], Farid Shekari[2], Mozafar Roustaii[3] and Soheila Moradi[4]

1- Ph.D. graduate, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran, (Corresponding author: s.moghadam@znu.ac.ir)
2- Professor, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
3- Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran
4- Ph.D. graduate, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: 21 May, 2023 Revised: 24 December, 2023 Accepted: 31 December, 2023 Available Online: 6 May, 2024

Extended Abstract

Background: As one of the most important cereals, bread wheat is an essential part of food security in the world, which supplies one-fifth of the total calories of the world population. Nowadays, the yield of wheat has been affected by climate change-driven drought as one of the most important abiotic stresses that has become an important threat to food security in the world. Root and stomatal traits are especially important in breeding plants to withstand drought stress. Stomata play a key role in controlling carbon dioxide uptake and water loss through transpiration. Therefore, stomatal characteristics are used as indicators of water status and plant growth, especially in drought stress conditions. Having a wide range of physiological and morphological characteristics, roots play an essential role in absorbing water and nutrients. They are also the first organ that sends signals to control the stomata in response to dryness. Therefore, the difference in the structure of the root system can cause the difference between the performance in different cultivars. This study was conducted to investigate stomatal characteristics and their relationship with the root system and plant performance in 24 bread wheat lines and cultivars.

Methods: To investigate the relationship between stomatal dimensions and density with the root system, an experiment was conducted on 24 bread wheat genotypes in the form of a randomized complete block design with three replications in the rainfed conditions of the research farm at Zanjan University Faculty of Agriculture in the crop year 2018-2019. In this experiment, PVC pipes were used to study the root system. Twelve seeds were planted in each tube, which were thinned to seven after germination. In each experimental unit, there were two tubes for each genotype, one of which was used to evaluate traits and final yield, and the second tube was used for root studies. Stomatal traits, including the length and width of stomata and number of stomata per unit area, root traits including root length, root diameter, root volume, root surface, and root biomass, and seed yield were measured in the end. The resulting data from the measured traits were analyzed in the form of a randomized complete block design, and the averages were compared using the LSD method. The data were analyzed using multivariate statistical analyses, including regression analysis, path analysis, and factor analysis, and cluster analysis was used to group genotypes. Statistical calculations were done using SAS 9.0 and SPSS 21 software.

Results: The results of analysis of variance and mean comparison showed high variability among genotypes for all measured traits. The results of the mean comparison of genotypes showed that genotypes 2, 5, 8, and 16 had the highest yield, and genotype 23 had the lowest yield among the examined genotypes. The highest number of stomata on the upper and lower leaf surfaces belonged to genotypes 5 and 2. In terms of root traits, the highest diameter, volume, length, root surface, and root dry weight at a depth of 0-25 cm were recorded for genotypes 2, 3, 18, and 5, respectively. There was a high and significant correlation between the

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

Copyright ©2024 Sadegh Ghol Moghadam et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

yield and the number of stomata on the upper and lower leaf surfaces, the length and width of the stomata on the upper leaf surface, diameter, volume, dry weight, and root surface at a depth of 0-25 cm in the soil. Based on the results of stepwise regression analysis, two variables, the number of stomata on the lower leaf surface and root dry weight at a depth of more than 25 cm explained 91.4% of the changes in grain yield. According to the results of the causality analysis of the number of stomata on the lower leaf surface, the most direct effect had a positive effect on seed yield. The results of factor analysis grouped the studied traits into three factors with 82.48% variability justification. The shares of the first, second, and third factors to explaining data changes were 48.86%, 24.62%, and 8.99%, respectively. Based on the plot obtained from factor analysis, genotypes 2, 5, 8, and 16 had high values for the first and second factors. According to the coefficients of the factors, it can be claimed that the genotypes located in this area have high performance, a high number of stomata, and strong root traits, which were found at the soil depth of 0-25 cm. For this reason, these are the genotypes that could produce high yields by absorbing water from the surface layers of the soil by having a large number of stomata and carrying out more photosynthesis. Moreover, the investigated genotypes were divided into three groups from cluster analysis by the ward method and Euclidean distance. Genotypes 2, 5, 8, and 16 were placed in the first group and had the highest mean values for grain yield traits, number and width of stomata on the upper and lower leaf surfaces, and root traits including diameter, volume, and dry weight at a soil depth of 0-25 cm, and root diameter at a depth greater than 25 cm. The lowest values for stomatal length were observed in both leaf surfaces. These were the best genotypes for cultivation in dry conditions.

Conclusion: A strong superficial root system can provide the plant with water from scattered rains that occur with low frequency at the end of the growth period. On the other hand, the increase in the number of stomata along with their smaller size reduces leaf pores and enables a faster response of the stomata, and the rapid response of the stomata maximizes water use efficiency. Therefore, having a strong superficial root system along with high stomatal density can increase seed yield in dry conditions.

Keywords: Bread wheat, Drought tolerance, Grain yield, Physiological traits, Root traits

How to Cite This Article: Sadegh Ghol Moghadam, R., Saba, J., Shekari, F., Roustaii, M., & Moradi, S. (2024). Evaluation of Relationship between Stomatal Dimensions and Density with Root System in Bread Wheat Cultivars and Lines under Rainfed Conditions. *J Crop Breed,* 16(2), 1-13. DOI: 10.61186/jcb.16.2.1

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی رابطه بین ابعاد و تراکم روزنه با سیستم ریشه‌ای در ارقام و لاین‌های گندم نان تحت شرایط دیم

رامین صادق قول مقدم[۱]، جلال صبا[۲]، فرید شکاری[۲]، مظفر روستایی[۴] و سهیلا مرادی[۴]

۱- فارغ‌التحصیل مقطع دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: s.moghadam@znu.ac.ir)

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

۴- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

صفحه: ۱ تا ۱۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گندم نان به‌عنوان یکی از مهمترین غلات، جزء ضروری امنیت غذایی در جهان می‌باشد که یک پنجم کل کالری جمعیت جهان را تامین می‌کند. امروزه خشکسالی به‌دلیل تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یکی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی عملکرد گندم را تحت تاثیر قرار داده و به یک تهدید مهم برای امنیت غذایی در جهان تبدیل شده است. در اصلاح گیاهان برای تحمل تنش خشکی صفات ریشه‌ای و روزنه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارند. روزنه‌ها نقش کلیدی برای کنترل جذب دی‌اکسیدکربن و از دست دادن آب از طریق تعرق دارند. روزنه‌ها همچنین نقش مهمی در به حداقل رساندن اتلاف آب برای سازگاری گیاه در محیط‌های با سطوح مختلف تابش خورشیدی، رطوبت هوا، دمای هوا، سرعت باد و محتوای آب خاک دارد. بنابراین، از خصوصیات روزنه‌ای به‌عنوان شاخص وضعیت آب و رشد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی استفاده می‌شود. ریشه‌ها با داشتن طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نقش اساسی در جذب آب و مواد غذایی دارند. همچنین به‌عنوان اولین اندامی هستند که در پاسخ به خشکی سیگنال‌هایی را جهت کنترل روزنه‌ها ارسال می‌کند. بنابراین تفاوت در ساختار سیستم ریشه‌ای می‌تواند سبب ایجاد تفاوت بین عملکرد در ارقام مختلف شود. این مطالعه به‌منظور بررسی خصوصیات روزنه و ارتباط آن با سیستم ریشه‌ای و عملکرد گیاه در ۲۴ لاین و رقم گندم نان انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی رابطه بین ابعاد و تراکم روزنه با سیستم ریشه‌ای آزمایشی بر روی ۲۴ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. در این آزمایش، جهت مطالعه سیستم ریشه‌ای از لوله‌های پی‌وی‌سی استفاده شد. در هر لوله تعداد ۱۲ بذر کشت شد که پس از سبز شدن به ۷ عدد تنک گردید. در هر واحد آزمایشی برای هر ژنوتیپ دو لوله وجود داشت که از یکی از آن‌ها برای ارزیابی صفات و عملکرد نهایی و از لوله دوم برای مطالعات ریشه استفاده گردید. صفات روزنه‌ای شامل طول و عرض روزنه و تعداد روزنه در واحد سطح، صفات ریشه‌ای شامل طول ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه و بیوماس ریشه و عملکرد دانه (گرم در متر مربع) اندازه‌گیری شدند. بعد از اندازه‌گیری صفات، تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و میانگین‌ها به‌روش LSD مورد مقایسه قرار گرفتند. به‌منظور بررسی روابط بین صفات تجزیه‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت و تجزیه عاملی انجام و از تجزیه کلاستر برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده گردید. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.0 و SPSS 21 انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین نشان‌دهنده تنوع بالا میان ژنوتیپ‌ها برای تمام صفات اندازه‌گیری شده بود. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶ به‌ترتیب بیشترین میزان عملکرد و ژنوتیپ ۲۳ کمترین میزان عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. بیشترین تعداد روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ مربوط به ژنوتیپ‌های ۵ و ۲ بود. از نظر صفات ریشه‌ای بیشترین قطر، حجم، طول، سطح ریشه و وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۸ و ۵ بود. همبستگی بالا و معنی‌داری بین عملکرد با تعداد روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ، طول و عرض روزنه در سطح فوقانی برگ، قطر، حجم، وزن خشک و سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام دو متغیر تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر ۹۱/۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند که بر اساس نتایج تجزیه علیت تعداد روزنه در سطح زیرین برگ بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد دانه داشت. نتایج تجزیه عاملی صفات مورد بررسی را در سه عامل با توجیه ۸۲/۴۸ درصدی تغییرپذیری گروه‌بندی کرد. سهم عامل اول از تبیین تغییرات داده‌ها ۴۸/۸۶ درصد، سهم عامل دوم ۲۴/۶۲ و سهم عامل سوم ۸/۹۹ درصد بود. بر اساس پلات حاصل از تجزیه به عامل‌ها ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶، دارای مقادیر بالا برای عامل اول و دوم بودند که با توجه به ضرایب عامل‌ها می‌توان بیان کرد که ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این ناحیه دارای عملکرد بالا، تعداد روزنه زیاد و صفات ریشه‌ای قوی در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک بودند به‌همین دلیل این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌هایی هستند که با جذب آب از لایه‌های سطحی خاک توانسته‌اند با داشتن تعداد روزنه زیاد و انجام فتوسنتز بیشتر عملکرد زیادی تولید کنند. همچنین ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از تجزیه کلاستر به‌روش ward و فاصله اقلیدسی در سه گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶ در گروه اول قرار گرفتند و دارای بیشترین مقدار میانگین برای صفات عملکرد دانه، تعداد و عرض روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ و صفات ریشه‌ای شامل قطر، حجم و وزن خشک ریشه هم در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر خاک و قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر و کمترین مقدار برای طول روزنه در هر دو سطح برگ بودند. که این ژنوتیپ‌ها بهترین ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط دیم بودند.

نتیجه‌گیری: سیستم ریشه‌ای سطحی قوی می‌توانند آب حاصل از بارندگی‌های پراکنده‌ای که با فراوانی کم در پایان دوره رشد رخ می‌دهد را در اختیار گیاه قرار دهند. از طرفی افزایش تعداد روزنه به‌همراه اندازه کوچکتر آن‌ها موجب کاهش منافذ برگ شده و امکان پاسخ سریعتر روزنه‌ها را فراهم می‌کند و پاسخ سریع روزنه‌ها سبب به حداکثر رساندن کارایی مصرف آب می‌شود. بنابراین در شرایط دیم دارا بودن سیستم ریشه‌ای سطحی قوی به‌همراه تراکم روزنه بالا می‌تواند سبب افزایش عملکرد دانه شود.

واژه‌های کلیدی: تحمل خشکی، صفات فیزیولوژیک، صفات ریشه‌ای، عملکرد دانه، گندم نان

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

مقدمه

غلات در سراسر جهان تأمین‌کننده بخش عمده نیاز غذایی بشر هستند. با افزایش جمعیت جهان و نیز بهبود استاندارد زندگی در بسیاری از کشورها، مصرف غلات افزایش یافته است و این وضعیت موجب اختلاف زیاد بین میزان تولید و مقدار مصرف آن‌ها شده است (Moshfeghi *et al.*, 2014). در بین غلات، گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در جهان مورد توجه بوده و بیشترین سطح زیر کشت و بالاترین میزان تولید را در بین گیاهان مختلف زراعی دارا می‌باشد و غذای اصلی مردم جهان به‌شمار می‌رود (Narayanan *et al.*, 2014). گندم ۳۰ درصد غلات تولیدی جهان را شامل می‌شود درحالیکه ۵۵ درصد کربوهیدرات و ۲۰ درصد کالری مصرفی جهان را تأمین می‌کند (Enghiad *et al.*, 2017). این محصول در ایران یکی از عوامل حیاتی امنیت غذایی محسوب می‌شود (Koocheki *et al.*, 2013). بیش از ۶۰ درصد مناطق ایران که گندم در آن‌ها کشت می‌شود در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. بنابراین، شایع‌ترین تنشی که گندم در این مناطق با آن روبه‌رو است تنش خشکی است. در ایران به‌خاطر بارندگی‌های ناکافی در سال‌های اخیر عملکرد و تولید گندم به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار گرفته است (Mohammadi *et al.*, 2010).

تنش خشکی سبب کاهش میزان آب گیاه، پتانسیل آب خاک و پتانسیل اسمزی گیاه برای جذب آب و مواد غذایی می‌شود که متعاقباً فشار تورژسانس برگ که تنظیم کننده فعالیت‌های متابولیک گیاه است را کاهش می‌دهد. چرا که با کاهش محتوای نسبی آب و کاهش فشار تورژسانس، روزنه‌ها بسته شده و در نتیجه میزان فتوسنتز گیاه نیز کاهش خواهد یافت. مکانیسم‌های تنظیم اسمزی نقش بسیار مهمی در حفظ فشار تورژسانس دارند که به جذب آب از خاک و تداوم فعالیت‌های متابولیک گیاه و در نتیجه به بقای گیاه کمک می‌کنند (Bilal *et al.*, 2015). تعداد روزنه در واحد سطح و اندازه روزنه مهمترین نقش را در تبادلات گازی در گیاه دارند، علاوه بر این، ارقام مختلف از یک گیاه که در شرایط یکسانی رشد می‌کنند توانایی متفاوتی در تبادلات گازی دارند که به‌دلیل تعداد متفاوت روزنه در واحد سطح برگ، اندازه و باز بودن روزنه‌ها است (Bertolino *et al.*, 2019). با وجود این، انعطاف‌پذیری در پاسخ به محیط به‌شدت توسط ژنتیک گیاه کنترل می‌شود (Assmann & Jegla, 2016).

مطالعات نشان داده است که وضعیت آب خاک اولین عاملی است که بسته شدن روزنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ریشه اندامی است که خشکی خاک را حس کرده و سیگنال‌هایی به اندام‌های هوایی ارسال می‌کند که در پاسخ به این سیگنال‌ها روزنه‌ها جهت به حداقل رساندن هدر رفت آب وضعیت باز و بسته بودن خود را تنظیم می‌کنند (Wilkinson *et al.*, 2012). از آنجایی‌که ریشه تأثیر مستقیمی در جذب آب و عناصر غذایی و تجمع زیست توده بخش هوایی دارد، ساختار سیستم ریشه‌ای ارقام ممکن است در تفاوت‌های موجود در عملکرد آنها نقش زیادی داشته باشد و لازم است در طول دوره رشد تعادل مناسب بین زیست توده اندام‌های زیرزمینی و بخش هوایی حفظ شود (Moshfeghi *et al.*, 2014). همان‌طور که اصلاح برای خصوصیات مربوط به اندام‌های هوایی باعث افزایش عملکرد می‌شود، انجام مطالعات در مورد ریشه نیز می‌تواند سبب شناخت عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد شده و در شرایط بحرانی تنش، موفقیت تولید را تضمین نماید (Blum, 2011).

شاهین نیا و همکاران (Shahinnia *et al.*, 2016) همبستگی بین تراکم روزنه با عملکرد دانه در ارقام گندم نان را مثبت اعلام کردند و علت آن را تبادلات گازی بیشتر و میزان فتوسنتز بیشتر در این ارقام دانستند در حالی‌که جاگر و همکاران (Jäger *et al.*, 2014) عنوان کردند بین عملکرد و تعداد روزنه همبستگی منفی وجود داشت به این دلیل که تعداد روزنه بیشتر سبب هدرروی آب می‌شود. عطا و همکاران (Atta *et al.*, 2013) گزارش کردند ژنوتیپ‌هایی از گندم نان که دارای سیستم ریشه‌ای قوی بودند، عملکرد بهتری در شرایط تنش خشکی داشتند.

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی صفات روزنه‌ای و ارتباط این صفات با صفات ریشه‌ای و عملکرد در ارقام و لاین‌های گندم نان در شرایط دیم در مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رابطه بین ابعاد و تراکم روزنه با سیستم ریشه‌ای و عملکرد دانه ۱۱ رقم گندم دیم پاییزه به نام‌های سرداری (ژنوتیپ شماره ۱)، هما (ژنوتیپ شماره ۲)، آذر ۲ (ژنوتیپ شماره ۳)، تک‌آب (ژنوتیپ شماره ۴)، اوحدی (ژنوتیپ شماره ۵)، رصد (ژنوتیپ شماره ۶)، هشترود، (ژنوتیپ شماره ۷)، باران (ژنوتیپ شماره ۸)، سائین (ژنوتیپ شماره ۹)، صدرا (ژنوتیپ شماره ۱۰) و کراس سبلان (ژنوتیپ شماره ۱۱) به‌همراه ۱۳ لاین پیشرفته گندم نان (به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ تا ۲۴) در شرایط دیم در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ کشت و ارزیابی شدند. به‌دلیل قرار گرفتن زنجان در منطقه سرد ۱۱ رقم دیم مقاوم به سرما و ۱۳ لاین پیشرفته گندم نان با هدف اصلاحی افزایش عملکرد در مناطق سرد انتخاب گردید.

در این آزمایش، از لوله‌های پی‌وی‌سی با قطرهای ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر و طول ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. جهت تسهیل خارج نمودن لوله‌های پی‌وی‌سی در انتهای فصل از خاک، داخل آنها لوله شماره ۱۵ قرار گرفت و فضای بین دو لوله توسط فوم ۲ سانتی‌متری پر گردید. لوله‌ها در سه کانال به فاصله ۲/۵متر از هم و به طول ۱۲ متر و عمق ۱/۲۵متر قرار داده شدند.

پس از اتمام عملیات نصب و آماده‌سازی لوله‌ها، زمین اطراف آن با استفاده از گاوآهن پنجه غازی شخم زده شد. در این آزمایش هر واحد آزمایشی شامل دو خط ۳ متری بود که یک لوله در وسط هر خط به‌منظور مطالعه سیستم ریشه قرار گرفت. به‌عبارت دیگر، دو خط کشت در دو طرف هر لوله به اندازه ۱/۵ متر ایجاد گردید. نیازهای کودی خاک با توجه به

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

آزمون خاک و حدود بحرانی گیاه گندم محاسبه و به خاک اضافه شد. با توجه به این که آزمایش به‌صورت دیم اجرا گردید، لذا آبیاری قبل از کاشت انجام نشد. با اینحال، به‌منظور یکسان کردن رطوبت مزرعه و لوله‌ها از خاک مزرعه و لوله نمونه تهیه می‌شد و پس از تعیین رطوبت، در صورت وجود اختلاف بین رطوبت خاک مزرعه و خاک لوله‌ها، به هر لوله به‌میزان لازم آب اضافه می‌گردید. این کار در طول فصل زراعی به‌جهت یکسان کردن رطوبت خاک لوله‌ها با زمین زراعی به‌طور مستمر و حسب نیاز انجام می‌شد. پس از آماده‌سازی زمین بذور با تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع با فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر در دو طرف لوله‌ها کشت شدند. در هر لوله نیز تعداد ۱۲ بذر کشت شد که پس از سبز شدن به ۷ عدد تنک گردید. در هر واحد آزمایشی برای هر ژنوتیپ دو لوله وجود داشت که از یکی از آن‌ها برای ارزیابی صفات و عملکرد نهایی و از لوله دوم، بعد از مرحله گرده‌افشانی که رشد رویشی متوقف می‌شود از زمین خارج و برای مطالعات ریشه استفاده گردید

صفات روزنه‌ای شامل طول و عرض روزنه و تعداد روزنه در واحد سطح، صفات ریشه‌ای شامل طول ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه و بیوماس ریشه و عملکرد دانه (گرم در متر مربع) اندازه‌گیری شدند. به‌منظور سهولت در جداسازی ریشه‌ها از خاک و جلوگیری از ایجاد خسارت به ریشه‌های اصلی و فرعی پس از خروج کیسه‌های پلاستیکی از لوله‌های پی‌وی‌سی ستون خاک به‌همراه پلاستیک اطراف آن بر روی صفحه مشبک گذاشته شد و حدود ۱۰ دقیقه در ظرف حاوی آب قرار گرفتند. سپس کیسه پلاستیکی حاوی بستر کاشت و ریشه درون آن به آهستگی از آب خارج و ریشه‌ها با استفاده از فشار ملایم آب شسته شدند و تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در الکل ۵۰٪ نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری خصوصیات روزنه یک هفته بعد از گرده‌افشانی از هر کرت به‌طور تصادفی سه نمونه از برگ پرچم در ساعت ۱۱ صبح انتخاب و در محلول تازه فرم‌آلدهید استیک اسید (FAA) ثابت گردیدند. تصویربرداری از برگ‌ها به‌روش هیروس و همکاران (Hirose *et al.*, 1992) انجام شد. در هر برگ هفت منطقه به مساحت ۰/۱۴۸۶۲ mm^2 با بزرگنمایی ۴۰۰× زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفت.

بعد از اندازه‌گیری صفات، تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (تک متغیره) انجام شد و میانگین‌ها به‌روش LSD مورد مقایسه قرار گرفتند. به‌منظور بررسی روابط بین صفات تجزیه‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت و تجزیه عاملی انجام و از تجزیه کلاستر برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده گردید. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.0 و SPSS 21 انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ تمام صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود داشت که نشان‌دهنده وجود تنوع بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی است. وجود تنوع در خصوصیات روزنه (Shahinnia *et al.*, 2016؛ Kardiman & Ræbild *et al.*, 2017)، صفات ریشه‌ای (Ehdaie *et al.*, 2012) و عملکرد (Elsayed *et al.*, 2017) در ارقام گندم، در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Table 1. Variance analysis of stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات mean of squares							
		تعداد روزنه سطح فوقانی برگ Stomatal frequency Adaxial	تعداد روزنه سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	طول روزنه سطح برگ stomata length Adaxial	طول روزنه پشت برگ stomata length Abaxial	عرض روزنه سطح برگ stomata width Adaxial	عرض روزنه پشت برگ stomata width Abaxial	قطر ریشه در عمق ۰-۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth of 0-25 cm	قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth greater than 25 cm
تکرار Replication	2	154.20**	515.05^{ns}	81.27*	12.16^{ns}	5.67^{ns}	25.18**	0.01**	0.003*
ژنوتیپ Genotype	23	316.24**	152.46**	59.52**	118.67**	13.62**	17.42**	0.005**	0.001**
خطا Error	46	111.91	38.15	20.87	14.24	3.51	4.37	0.001	0.0007
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	14.28	14.91	9.31	7.95	7.74	7.80	11.93	15.50

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Continued Table 1. Variance analysis of stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات mean of squares								
		حجم ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root volume at a depth of 0-25 cm	حجم ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root volume at a depth greater than 25 cm	وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Dry weight of roots at a depth of 0-25 cm	وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Dry weight of roots at a depth greater than 0-25 cm	طول ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root length at a depth of 0-25 cm	طول ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm The root length at a depth greater than 25 cm	سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root surface at a depth of 0-25 cm	سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root surface at a depth of more than 25 cm	عملکرد دانه yield
تکرار Replication	2	0.003 ns	16.07**	0.01 ns	0.18 ns	3707.55*	68953.7 ns	65811.4 ns	11984.1ns	0.18 ns
ژنوتیپ Genotype	23	3.03**	7.17**	0.18**	0.36**	2873.59**	109837.4**	88602.0**	922816.2**	71.90**
خطا Error	46	1.32	2.75	0.06	0.09	953.07	44090.52	31080.8	234652.0	9.81
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	8.31	10.85	12.96	11.36	4.80	6.4	8.25	9.11	7.21

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها (جدول۲) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶ به‌ترتیب بیشترین میزان عملکرد و ژنوتیپ ۲۳ کمترین میزان عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. بیشترین تعداد روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ مربوط به ژنوتیپ‌های ۵ و ۲ و بیشترین طول روزنه در هر دو سطح برگ مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۳ و ۶ و بیشترین عرض روزنه مربوط به ژنوتیپ‌های ۵ (در سطح فوقانی برگ) و ۱۴ (در سطح زیرین برگ) بود. از نظر صفات ریشه‌ای بیشترین قطر، حجم، طول، سطح ریشه و وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۲، ۲، ۳، ۱۸ و ۵ بود. در مجموع با توجه به نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی مشخص شد که ژنوتیپ‌هایی که سیستم ریشه‌ای قوی در قسمت سطحی عمق کاشت داشتند با داشتن تعداد روزنه زیاد در سطح برگ توانسته‌اند فتوسنتز بیشتری انجام داده (Roche, 2015) و عملکرد بیشتری نیز تولید کنند که می‌تواند به این دلیل باشد که سیستم ریشه‌ای سطحی قادر است آب حاصل از بارش‌های کم که قدرت نفوذ در عمق خاک را ندارند نیز جذب کند (Manschadi *et al.*, 2010). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کم‌شدن آب در لایه سطحی عمق کاشت باعث ارسال سیگنال‌هایی به گیاه می‌شود که گیاه با دریافت این سیگنال‌ها احساس تنش کرده و در واکنش به آن، روزنه‌های خود را می‌بندد (Saradadevi *et al.*, 2015) لذا جذب آب توسط ریشه در این ناحیه منجر به باز شدن روزنه‌ها و به‌دنبال آن افزایش فتوسنتز می‌شود. با این وجود بر اساس نتایج یک مطالعه، در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالاتری داشتند توانسته بودند طول ریشه و حجم ریشه بیشتری را در اعماق خاک نسبت به ارقام با عملکرد پایین تولید کنند (Saxena et al., 2014).

بر اساس نتایج ضریب همبستگی (جدول ۳) صفات، بین عملکرد با تعداد روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ، عرض روزنه در سطح فوقانی برگ، قطر، حجم، وزن خشک و سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار و بین عملکرد با طول روزنه در سطح فوقانی برگ همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت. در آزمایشی که بر روی تعدادی رقم گندم متحمل و حساس به خشکی انجام شد، ارقامی متحمل به خشکی تعداد روزنه بیشتر با اندازه کوچک‌تر داشتند (Franks & Beerling, 2009؛ de Boer *et al.*, 2012) در این آزمایش نیز ارقام متحملی که توانستند عملکرد بیشتری تولید کنند تعداد روزنه بیشتر با اندازه کوچک‌تر داشتند، این ارقام با داشتن سیستم ریشه‌ای قوی توانسته‌اند آب را جذب کرده و در اختیار گیاه قرار دهند تا گیاه با داشتن تعداد روزنه زیاد دچار تنش نشود (Saradadevi *et al.*, 2015). با این وجود در برخی مطالعات همبستگی منفی بین تعداد روزنه با عملکرد به‌دلیل از دست رفتن آب بیشتر گزارش شده است (Dunn *et al.*, 2019). همبستگی مثبت بین عملکرد و وزن خشک ریشه در عمق‌های مختلف خاک در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Kolahian Jongrungklang *et al.*, 2012؛ Hamedanizad *et al.*, 2015).

همبستگی بین تعداد روزنه با طول روزنه نیز منفی و معنی‌دار بود که با نتایج محققین دیگر تطابق دارد (de Boer *et al.*, 2016, de Boer *et al.*, 2012, Dittberner *et al.*, 2018, Fanourakis *et al.*, 2015). همبستگی بین این دو صفت احتمالاً به‌دلیل وجود یک رابطه جبران‌کننده است. به این ترتیب تعداد روزنه بیشتر با کاهش شکاف روزنه و تعداد روزنه کمتر با شکاف روزنه‌ای وسیع‌تر جبران می‌شود (Aminian *et al.*, 2012). رابطه بین تعداد روزنه با قطر، حجم، طول، سطح و وزن خشک ریشه مثبت و رابطه بین طول روزنه با این صفات منفی بود. مقدار همبستگی بین تعداد روزنه و طول روزنه با صفات ریشه‌ای در لایه‌های سطحی عمق ریشه (۲۵-۰ سانتی‌متر) بیشتر از لایه‌های عمیق‌تر (بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر) بود.

به‌منظور درک بهتر رابطه بین عملکرد دانه با سایر صفات، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد (جدول ۴). نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با در نظر گرفتن صفت عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل نشان داد که در مجموع دو متغیر تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر وارد مدل شدند و سایر صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر مدل نداشته و به‌همین دلیل اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفت عملکرد دانه را می‌توان به تفاوت در

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

این صفات نسبت داد. در این میان صفت تعداد روزنه در سطح زیرین برگ به‌تنهایی ۸۹/۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرده است که چنین رابطه قوی را می‌توان به‌دلیل همبستگی مثبت و بالای دو صفت دانست. دومین متغیر وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر بود که ضریب تبیین مدل را به ۹۱/۴ درصد رساند. با توجه به اینکه رشد و گسترش ریشه و نفوذ آن در خاک نیاز به انرژی دارد، به‌ویژه در شرایط دیم که خاک خشک و فشرده است و نفوذ ریشه در خاک نیاز به انرژی بیشتری دارد، در نتیجه صرف انرژی برای رشد و گسترش ریشه در خاک باعث کاهش مواد ذخیره‌ای برای پر کردن دانه شده که در نهایت منجر به کاهش عملکرد شده است.

جدول۲- مقایسه میانگین به روش LSD برای صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Table 2. Comparison of mean with LSD method for stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

حجم ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root volume at a depth of 0-25 cm	قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth greater than 25 cm	قطر ریشه در عمق ۰-۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth of 0-25 cm	عرض روزنه پشت برگ stomata width Abaxial	عرض روزنه سطح برگ stomata width Adaxial	طول روزنه پشت برگ stomata length Abaxial	طول روزنه سطح برگ stomata length Adaxial	تعداد روزنه سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	تعداد روزنه سطح فوقانی برگ Stomatal frequency Adaxial	ژنوتیپ Genotype
35.00	0.29	0.28	24.58	27.50	45.83	53.75	38.81	59.79	1
43.00	0.37	0.35	22.92	26.67	44.58	43.75	61.88	98.59	2
35.00	0.35	0.29	27.92	22.08	48.33	49.58	55.59	76.57	3
25.33	0.41	0.29	30.00	26.67	48.75	51.67	49.30	71.32	4
37.00	0.31	0.30	24.58	21.67	47.50	47.08	47.20	76.57	5
31.00	0.42	0.34	25.42	25.00	50.42	53.75	47.20	76.57	6
30.00	0.37	0.21	30.83	26.67	52.08	42.50	53.49	76.57	7
26.33	0.39	0.33	29.17	24.17	60.83	54.58	44.05	68.18	8
31.00	0.28	0.23	25.42	25.00	42.08	53.33	50.35	71.32	9
27.67	0.30	0.25	24.58	26.25	45.83	50.42	61.88	74.47	10
29.00	0.32	0.23	27.50	25.42	45.00	43.33	52.44	74.47	11
30.33	0.34	0.32	29.58	26.25	55.83	56.67	39.86	50.35	12
22.00	0.35	0.32	27.08	24.58	45.00	44.58	57.69	76.57	13
33.00	0.31	0.25	27.92	24.58	45.00	47.50	45.10	66.08	14
25.33	0.36	0.32	25.83	25.00	47.08	41.67	60.83	73.42	15
34.33	0.45	0.23	28.75	21.67	45.00	47.08	65.03	98.59	16
14.67	0.41	0.29	26.67	25.00	45.00	47.92	46.15	77.62	17
18.67	0.28	0.25	25.42	24.17	52.08	47.08	50.35	71.32	18
18.00	0.34	0.32	27.08	24.17	51.25	50.00	45.10	71.32	19
39.00	0.43	0.33	32.08	23.33	55.83	56.67	41.96	58.74	20
23.33	0.35	0.33	24.58	20.42	44.17	44.58	55.59	79.71	21
29.00	0.34	0.30	25.42	23.75	50.83	48.33	52.44	75.52	22
18.67	0.37	0.23	22.92	21.25	45.83	47.92	54.54	76.57	23
27.00	0.31	0.28	27.50	19.58	54.17	53.75	50.35	76.57	24
17.69	0.11	0.07	4.59	4.11	8.44	10.02	16.73	23.21	LSD 1%
13.25	0.08	0.05	3.43	3.08	6.32	7.50	12.53	17.38	LSD 5%

ادامه جدول۲- مقایسه میانگین به روش LSD برای صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Continued Table 2. Comparison of mean with LSD method for stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

عملکرد دانه yield	سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root surface at a depth of more than 25 cm	سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root surface at a depth of 0-25 cm	طول ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm The root length at a depth greater than 25 cm	طول ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root length at a depth of 0-25 cm	وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵cm Dry weight of roots at a depth greater than 0-25 cm	وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰cm Dry weight of roots at a depth of 0-25 cm	حجم ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root volume at a depth greater than 25 cm	ژنوتیپ Genotype
18.70	8532.94	5690.80	1952.61	814.14	7.18	7.32	32.33	1
26.62	7145.38	4867.50	1212.45	438.71	8.87	9.16	36.00	2
14.65	12685.40	4731.21	2990.02	510.25	11.16	6.60	49.00	3
14.27	9874.78	3390.97	1808.77	368.82	9.30	4.65	48.00	4
24.21	10820.62	4912.13	2244.07	519.89	9.25	9.13	42.67	5
10.16	8270.10	3676.50	1423.62	347.83	10.16	5.63	42.67	6
13.34	8035.89	5842.97	1544.80	933.97	10.82	7.83	36.33	7
23.45	8595.90	3197.98	1513.62	316.67	10.63	5.10	40.33	8
13.61	14529.91	5837.04	3424.64	897.84	9.52	6.35	53.00	9
15.59	22937.34	4484.82	7197.39	586.84	15.52	7.23	73.33	10
14.53	19021.15	5157.25	4359.59	730.45	13.61	6.50	71.00	11
11.14	13299.70	3812.81	2766.25	381.64	13.38	7.46	55.00	12
15.46	10540.03	2741.54	2085.29	273.42	12.49	4.50	45.33	13
11.16	10705.67	5344.42	2425.32	695.81	7.46	7.06	42.00	14
10.19	7165.02	3070.70	1317.39	299.44	6.55	5.43	33.33	15
22.41	8561.52	6022.42	1366.35	842.33	10.69	9.01	45.33	16
11.59	8261.16	2022.64	1359.97	222.16	12.19	3.45	41.67	17
16.71	14209.76	3145.12	3668.50	427.49	10.78	4.57	46.33	18
14.75	12612.91	2268.02	2404.36	227.58	12.47	3.98	54.00	19
10.50	11916.64	4820.29	2009.85	476.28	14.99	9.52	63.33	20
15.11	11185.15	2671.99	2102.90	255.47	10.44	6.07	48.33	21
11.29	7394.18	3865.30	1211.09	410.38	9.13	6.50	40.00	22
8.59	10310.67	3248.81	1800.21	450.94	13.18	5.42	48.00	23
10.62	8842.84	3727.67	1888.39	411.36	7.37	4.99	33.67	24
6.87	7394.4	2707.5	3225.2	474.12	4.59	3.78	25.47	LSD 1%
5.14	5539	2028.20	2416	355.17	3.43	2.83	19.08	LSD 5%

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

جدول۳- تجزیه همبستگی برای صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم

Table 3. correlation analysis for stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1.00															
2	.850**	1.00														
3	.939**	.865**	1.00													
4	-.908**	-.844**	-.973**	1.00												
5	-0.38	-0.32	-0.35	.433*	1.00											
6	.865**	.859**	.950**	-.975**	-.427*	1.00										
7	0.02	-0.04	0.06	-0.08	0.26	0.10	1.00									
8	.884**	.843**	.949**	-.957**	-0.40	.958**	0.05	1.00								
9	.441*	0.36	.422*	-0.38	0.11	0.27	0.29	0.31	1.00							
10	.926**	.901**	.957**	-.956**	-0.40	.967**	0.05	.967**	0.32	1.00						
11	0.22	0.35	0.38	-.477*	-0.18	.500*	0.04	.529**	0.02	.426*	1.00					
12	.839**	.813**	.840**	-.866**	-.500*	.851**	-0.04	.839**	0.26	.879**	.417*	1.00				
13	0.18	0.33	0.35	-.439*	-0.12	.478*	0.13	.481*	0.13	0.37	.810**	0.36	1.00			
14	0.35	0.33	.452*	-.553**	-0.38	.563**	-0.06	.575**	0.13	.492*	.613**	.557**	.657**	1.00		
15	.651**	.617**	.737**	-.812**	-.453*	.822**	-0.02	.829**	0.24	.781**	.619**	.779**	.629**	.925**	1.00	
16	-0.01	0.06	0.09	-0.21	-0.11	0.19	0.05	0.24	-0.03	0.14	.767**	0.04	.536**	.434*	0.36	1.00
17	0.03	0.13	0.18	-0.31	-0.15	0.30	0.09	0.33	-0.02	0.22	.883**	0.15	.653**	.497*	.445*	.966**

۱- عملکرد دانه، ۲-تعداد روزنه سطح فوقانی برگ،۳-تعداد روزنه سطح زیرین برگ،۴-طول روزنه سطح برگ،۵-طول روزنه پشت برگ،۶-عرض روزنه سطح برگ، ۷- عرض روزنه پشت برگ،۸-قطر ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی متر، ۹- قطر ریشه در عمق ۰-۲۵ سانتی متر، ۱۰-حجم ریشه در عمق ۰-۲۵ سانتی متر، ۱۱- حجم ریشه در عمق بیشتر از ۲۵سانتی متر،۱۲-وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی متر، ۱۳- وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵سانتی متر،۱۴-طول ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی متر، ۱۵- سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ سانتی متر ، ۱۶- طول ریشه در عمق بیشتر از ۲۵سانتی متر،۱۷-سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵سانتی متر

1-yield 2- Stomatal frequency Adaxial, 3- Stomatal frequency Abaxial, 4- stomata length Adaxial, 5- stomata length Abaxial, 6- stomata width Adaxial, 7- stomata width Abaxial, 8- Root diameter at a depth of 0-25 cm, 9- Root diameter at a depth greater than 25 cm, 10- Root volume at a depth of 0-25 cm, 11- Root volume at a depth greater than 25 cm, 12- Dry weight of roots at a depth of 0-25 cm, 13- Dry weight of roots at a depth greater than 0-25 cm, 14- Root length at a depth of 0-25 cm, 15- Root surface at a depth of 0-25 cm,16- The root length at a depth greater than 25 cm, 17- Root surface at a depth of more than 25 cm

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

جدول ۴- تجزیه رگرسیون برای صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Table 4. Regression anlysis for stomatal, root and grain yield traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

متغیر Variable	ضریب رگرسیون regression coefficient	اشتباه استاندارد Standard error	ضریب رگرسیون استانداردشده Standardized regression coefficient	t-Test	سطح معنی‌داری The significance level	ضریب تبیین مرحله‌ای Coefficient of stepwise explanation	ضریب تبیین تجمعی Cumulative R^2
عرض از مبدأ Intercept	-16.8	2.24	-	-7.510	0.000	-	-
تعداد روزنه در سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	0.690	0.045	1.005	15.423	0.000	0.893	0.893
وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Dry weight of roots at a depth greater than 25 cm	-0.323	0.909	-0.167	-2.556	0.018	0.025	0.914

نظر به اینکه در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام دو صفت تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر با دارا بودن بزرگترین ضرایب بیشترین تأثیر را روی عملکرد دانه داشتند، تجزیه علیت این صفات بر روی عملکرد دانه انجام شد (جدول ۵). طبق نتایج به دست آمده از تجزیه ضرایب علیت برای عملکرد دانه با سایر صفات، بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد مربوط به صفت تعداد روزنه در سطح زیرین برگ بود. همبستگی این صفات با صفت عملکرد نیز r=۰/۹۳۹ بود. این بدین معنی است که همبستگی بالای این صفت با عملکرد ، عمدتاً از طریق اثر مستقیم صفت مذکور می‌باشد، به همین دلیل گزینش بر مبنای این صفت در جهت افزایش عملکرد دانه مفید خواهد بود. امینیان و همکاران (Aminian *et al.*, 2012) نیز عنوان کردند همبستگی بین تعداد روزنه در سطح زیرین برگ با عملکرد مثبت و معنی‌دار بود. اثر مستقیم صفت وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر بر عملکرد دانه منفی بود اما اثر غیر مستقیم این صفت بر عملکرد دانه از طریق تعداد روزنه در سطح زیرین برگ مثبت بود که به این مفهوم است که اگرچه گسترش ریشه در اعماق خاک منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (به‌دلیل نیاز به صرف انرژی) اما با نفوذ ریشه به اعماق خاک، گیاه قادر خواهد بود آب را در اختیار گیاه قرار دهد و تأمین آب مورد نیاز گیاه منجر به افزایش تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه عملکرد می‌شود. به‌همین دلیل همبستگی نهایی این صفت با عملکرد دانه مثبت بود. در این مطالعه بهبود خصوصیات ریشه برای جذب آب از طریق گسترش ریشه در قسمت سطحی خاک برای استفاده حداکثری از رطوبت موجود در لایه‌های بالایی خاک و همچنین استفاده از شبنم صبحگاهی سبب افزایش محتوای نسبی آب خاک شده است.

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت برای صفات صفات روزنه‌ای، ریشه‌ای و عملکرد دانه در گندم نان تحت شرایط دیم
Table 5. Direct and indirect effects resulting from path analysis for stomatal, root and grain yield traits in bread wheat under rainfed conditions

صفات traits	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم Indirect effect		ضریب همبستگی correlation
		تعداد روزنه در سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتیمتر Dry weight of roots at a depth greater than 25 cm	
تعداد روزنه در سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	0.993	-	-0.054	0.939
وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتیمتر Dry weight of roots at a depth greater than 25 cm	-0.158	0.337	-	0.180
اثرات باقی‌مانده residual	0.307			

برای درک عمیق ساختار داده‌ها، تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. در ابتدا به‌منظور تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تجزیه عاملی از دو شاخص KMO[1] و آزمون کرویت بارتلت[2] استفاده شد. با توجه به اینکه مقدار KMO برابر ۰/۷۲۰ به‌دست آمد، لذا همبستگی‌های موجود بین داده‌ها برای تجزیه عاملی مناسب بودند. آزمون کرویت بارتلت نیز بسیار معنی‌دار بود (۶۱۷/۹۰۴) که وجود همبستگی کافی بین متغیرها را نشان داد. نتایج حاصل نشان داد (جدول ۶) که سه عامل اول توانستند ۸۲/۴۸ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه کنند. سهم عامل اول از تبیین تغییرات داده‌ها ۴۸/۸۶ درصد، سهم عامل دوم ۲۴/۶۲ و سهم عامل سوم ۸/۹۹ درصد بود. عامل اول دارای ضریب بزرگ و مثبت (بزرگ‌تر از ۰/۵) برای صفات عملکرد دانه، تعداد روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ، عرض روزنه در سطح فوقانی برگ، قطر، حجم، وزن خشک، طول و سطح ریشه در لایه سطحی عمق کاشت و ضرایب بزرگ و منفی برای صفات طول روزنه در سطح فوقانی برگ بود. عامل دوم دارای ضرایب بزرگ و منفی برای صفات حجم ، وزن خشک، طول و سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر بود. با توجه به ضرایب صفات می‌توان این عامل را عامل مؤثر بر صفات ریشه در لایه‌های عمیق خاک نامید. عامل سوم دارای ضرایب بزرگ و منفی برای صفات طول و عرض روزنه در سطح زیرین خاک و قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر خاک بود. این عامل را می‌توان عامل مؤثر بر اندازه روزنه در سطح زیرین برگ نامگذاری کرد.

با استفاده از نتایج تجزیه به عامل‌ها و بر اساس دو مؤلفه اول نمودار بای‌پلات رسم شد (شکل ۱). بر اساس این پلات ژنوتیپ‌هایی که در منطقه A قرار گرفتند مانند ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶، دارای مقادیر بالا برای عامل اول و دوم بودند که با توجه به ضرایب عامل‌ها می‌توان بیان کرد که ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این ناحیه دارای عملکرد بالا، تعداد روزنه زیاد و صفات ریشه‌ای قوی در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک بودند

1- Kaiser-Meyer-Olkin
2- Bartlett,s test

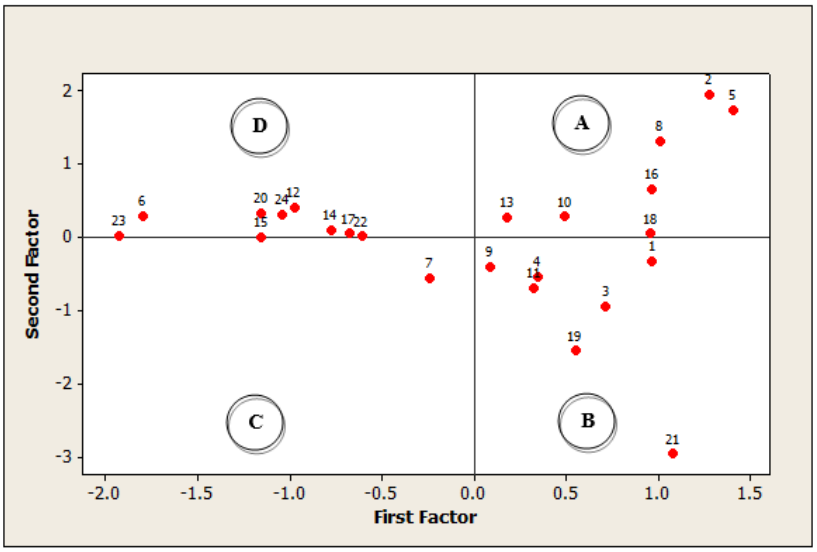
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

به‌همین دلیل این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌هایی هستند که با جذب آب از لایه‌های سطحی خاک توانسته‌اند با داشتن تعداد روزنه زیاد و انجام فتوسنتز بیشتر عملکرد زیادی تولید کنند. ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه B قرار گرفتند (مانند ژنوتیپ‌های ۲۱، ۱۹ و ۳) ژنوتیپ‌هایی هستند که دارای عملکرد بالا، تعداد روزنه زیاد و سیستم ریشه‌ای قوی هم در سطح و هم در عمق خاک هستند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها با داشتن سیستم ریشه‌ای قوی دارای عملکرد مناسبی نیز هستند.

جدول ۶- ضرایب عاملی، واریانس نسبی و تجمعی عامل‌ها در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم

Table 6. Factor coefficients, relative and cumulative variance of factors in bread wheat genotypes under rainfed condition

متغیر Variable	عامل ۱ Factor 1	عامل ۲ Factor 2	عامل ۳ Factor 3
تعداد روزنه سطح فوقانی برگ Stomatal frequency Adaxial	0.845	0.312	-.0028
تعداد روزنه سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	0.927	0.297	-0.093
طول روزنه سطح برگ stomata length Adaxial	-0.967	-0.163	0.049
طول روزنه پشت برگ stomata length Abaxial	-0.461	-0.043	-0.627
عرض روزنه سطح برگ stomata width Adaxial	0.962	0.139	-0.013
عرض روزنه پشت برگ stomata width Abaxial	0.041	-0.045	-0.788
قطر ریشه در عمق ۰-۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth of 0-25 cm	0.966	0.111	-0.024
قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth greater than 25 cm	0.340	0.259	-0.625
حجم ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root volume at a depth of 0-25 cm	0.947	0.248	-0.014
حجم ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root volume at a depth greater than 25 cm	0.623	-0.710	-0.039
وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰cm Dry weight of roots at a depth of 0-25 cm	0.884	0.239	0.144
وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵cm Dry weight of roots at a depth greater than 0-25 cm	0.578	-0.601	-0.142
طول ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root length at a depth of 0-25 cm	0.685	-0.404	0.185
طول ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm The root length at a depth greater than 25 cm	0.899	-0.176	-0.121
سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root surface at a depth of 0-25 cm	0.332	-0.835	-0.068
سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root surface at a depth of more than 25 cm	0.429	-0.848	-0.076
عملکرد دانه yield	0.855	0.443	-0.045
ارزش ویژه Eigenvalue	9.398	3.103	1.521
درصد واریانس تجمعی Cumulative of variance (%)	55.284	73.538	82.458



شکل ۱- نمودار بای‌پلات بر اساس عامل‌های اول و دوم در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم

Figure 1. Biplot diagram based on the first and second factors in bread wheat genotypes under rainfed conditions

ژنوتیپ‌های قرار گرفته در ناحیه C (ژنوتیپ ۷) دارای سیستم ریشه‌ای قوی در عمق خاک بودند اما سیستم ریشه در این ژنوتیپ‌ها در لایه‌های سطحی خاک ضعیف بوده و با داشتن تعداد روزنه کم، عملکرد پایینی داشتند. ژنوتیپ‌های ناحیه D (مانند ژنوتیپ‌های ۶، ۲۳ و ۲۰) به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای ضعیف قادر به جذب آب از خاک نبوده لذا

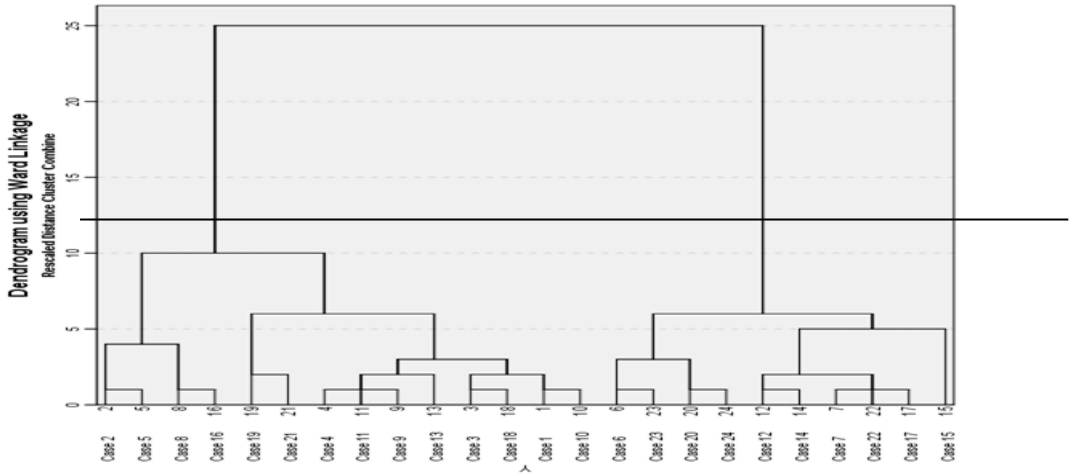
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

گیاه تحت تنش شدید رطوبتی بوده و تعداد کم روزنه در این ژنوتیپ‌ها به دلیل کم بودن مقدار آب گیاه منجر به کاهش میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه شده است. در مجموع با توجه به نتایج حاصل، استفاده از ژنوتیپ‌ها قرار گرفته در تواحی A یا B برای کشت در مناطق دیم توصیه می‌شود.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از تجزیه کلاستر به روش ward و فاصله اقلیدسی در سه گروه قرار گرفتند (شکل ۲). جهت انتخاب بهترین حالت گروه‌بندی از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. در حالت‌های مختلف برش دندروگرام گروه‌بندی انجام شد. در حالت برشی که سه گروه ایجاد شد، کمترین مقدار آماره ویلکس لامبدا[1] و سطح معنی‌داری و بیشترین مقدار کای اسکور[2] و درصد صحت گروه‌بندی به دست آمد که در این حالت اختلاف بین گروه‌ها خیلی بیشتر از اختلاف درون گروه‌ها بود و گروه‌بندی صحیح‌تری انجام شد. همچنین به‌منظور تأیید اختلافات بین گروه‌ها، تجزیه واریانس چند متغییره بر پایه طرح کاملا تصادفی نامتعادل برای صفات مورد نظر انجام شد که برای حالت سه گروهی کمترین مقدار آماره ویلکس لامبدا به‌همراه بیشترین مقدار F به‌دست آمد.

ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶ در گروه اول قرار گرفتند و دارای بیشترین مقدار میانگین برای صفات عملکرد دانه، تعداد و عرض روزنه در سطح فوقانی و زیرین برگ و صفات ریشه‌ای شامل قطر، حجم و وزن خشک ریشه هم در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر خاک و قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر و کمترین مقدار برای طول روزنه در هر دو سطح برگ بودند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این گروه برترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه بودند. ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۴، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۸، ۱۹ و ۲۱ در گروه دوم قرار گرفتند این ژنوتیپ‌ها با داشتن تعداد روزنه کمتر از گروه اول و حجم ریشه و وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر و طول و سطح ریشه بیشتر در هر دو عمق و عملکرد متوسط، ژنوتیپ‌های مناسب بعد از ژنوتیپ‌های گروه اول بودند. سایر ژنوتیپ‌ها در گروه سوم قرار گرفتند که دارای کمترین مقدار میانگین برای صفات عملکردی، روزنه‌ای به غیر از طول روزنه در دو سطح برگ و صفات ریشه‌ای بودند (جدول ۷). نتایج حاصل از تجزیه کلاستر تا حد زیادی تأیید کننده نتایج تجزیه عاملی بود.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Figure 2. Dendrogram resulting from the cluster analysis of investigated traits in bread wheat genotypes under rainfed conditions

جدول ۷- میانگین هر گروه و میانگین کل در تجریه کلاستر ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم
Table 7. The average of each group and the total average in the cluster experiment of bread wheat genotypes under rainfed conditions

عملکرد دانه yield	سطح ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root surface at a depth of more than 25 cm	سطح ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root surface at a depth of 0-25 cm	طول ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm The root length at a depth greater than 25 cm	طول ریشه در عمق ۲۵-۰ cm Root length at a depth of 0-25 cm	وزن خشک ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Dry weight of roots at a depth greater than 25 cm	وزن خشک ریشه در عمق ۲۵-۰cm Dry weight of roots at a depth of 0-25 cm	حجم ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ cm Root volume at a depth greater than 25 cm	
18.55	1303.41	668.74	232.15	71.73	1.50	1.20	6.34	گروه ۱ Group 1
15.26	1998.54	710.49	450.60	94.87	1.75	1.01	8	گروه ۲ Group 2
13.17	1248.06	421.22	248.79	46.47	1.30	0.68	5.49	گروه ۳ Group 3
14.94	1558.21	586.61	327.65	70.47	1.51	0.91	6.67	میانگین کل Averege

1- Wilks' Lambda
2- Chi-square

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

ادامه جدول۷- میانگین هر گروه و میانگین کل در تجریه کلاستر ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم

Continued Table 7. The average of each group and the total average in the cluster experiment of bread wheat genotypes under rainfed conditions

	تعداد روزنه سطح فوقانی برگ Stomatal frequency Adaxial	تعداد روزنه سطح زیرین برگ Stomatal frequency Abaxial	طول روزنه سطح برگ stomata length Adaxial	طول روزنه پشت برگ stomata length Abaxial	عرض روزنه سطح برگ stomata width Adaxial	عرض روزنه پشت برگ stomata width Abaxial	قطر ریشه در عمق ۰- ۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth of 0-25 cm	قطر ریشه در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی متر Root diameter at a depth greater than 25 cm	حجم ریشه در عمق cm۲۵-۰ Root volume at a depth of 0-25 cm
گروه ۱ Group 1	85.30	52.58	42.50	43.75	26.94	28.47	0.33	0.20	5.28
گروه ۲ Group 2	76.04	53.28	47.16	46.04	25.12	26.91	0.30	0.17	4.43
گروه ۳ Group 3	66.18	44.47	53.45	50.25	22.20	26.62	0.24	0.16	3.13
میانگین کل Averege	74.03	51.13	49.06	47.44	24.20	26.82	0.28	0.17	4.06

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل، ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۶ با داشتن سیستم ریشه‌ای قوی در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک می‌توانند آب حاصل از بارندگی‌های پراکنده‌ای که با فراوانی کم در پایان دوره رشد رخ می‌دهد را در اختیار گیاه قرار دهند. از طرفی این ژنوتیپ‌ها با تأمین آب مورد نیاز گیاه قادرند روزنه‌های خود را که به تعداد زیادی روی هر دو سطح برگ وجود دارند باز نگه دارند و به این ترتیب با انجام فتوسنتز، عملکرد بالایی تولید کنند. بنابراین کشت این ژنوتیپ‌ها برای مناطق دیم و سردسیری که بارندگی‌های پراکنده طی فصل رشد دارند توصیه می‌شود. ژنوتیپ‌های ۳، ۱۹ و ۲۱ که سیستم ریشه‌ای قوی در عمق بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر دارند برای کشت در مناطق دیم سردسیری که در ابتدای فصل رشد بارندگی‌های مناسبی دارند که به اعماق خاک نفوذ پیدا می‌کند پیشنهاد می‌شوند اگرچه به‌نظر می‌رسد صرف انرژی برای گسترش ریشه تا حدی عملکرد را در این ارقام تحت تأثیر قرار دهد. افزایش تعداد روزنه به‌همراه اندازه کوچکتر آن‌ها موجب کاهش منافذ برگ شده و امکان پاسخ سریعتر روزنه‌ها را فراهم می‌کند و پاسخ سریع روزنه‌ها سبب به حداکثر رساندن کارایی مصرف آب می‌شود. از طرفی سیستم ریشه‌ای سطحی با جذب رطوبت از حداقل بارندگی و شبنم صبحگاهی سبب افزایش عملکرد می‌شود.

References

Aminian, R., Mohammadi deh cheshme, S., Houshmand, S., Khodambashi, M., & Nozad, K. (2012). Effect of stomatal characteristics on photosynthesis and yield of the bread wheat chromosomal substitution lines under normal and stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *13*(2), 13-25. https://jci.ut.ac.ir/article_24410_8f614965b0f74f45624a4ced75b23178.pdf

Assmann, S. M., & Jegla, T. (2016). Guard cell sensory systems: recent insights on stomatal responses to light, abscisic acid, and CO(2). *Curr Opin Plant Biol*, *33*, 157-167. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.07.003

Atta, B. M., Mahmood, T., & Trethowan, R. (2013). Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia. *Australian Journal of Crop Science*, *7*, 2108-2115.

Bertolino, L. T., Caine, R. S., & Gray, J. E. (2019). Impact of Stomatal Density and Morphology on Water-Use Efficiency in a Changing World. *Front Plant Sci*, *10*, 225. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00225

Bilal, M., Rashid, R., Rehman, S., Iqbal, F., Ahmed, J., Abid, M., Ahmed, Z., & Hayat, A. (2015). Evaluation of wheat genotypes for drought tolerance. *J. Green Physiol. Genet. Genom*, *1*, 11-21.

Blum, A. (2011). *Plant Breeding for Water Limited Environments. Springer New York, 2011*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4

de Boer, H. J., Eppinga, M. B., Wassen, M. J., & Dekker, S. C. (2012). A critical transition in leaf evolution facilitated the Cretaceous angiosperm revolution. *Nature Communications*, *3*(1), 1221. https://doi.org/10.1038/ncomms2217

de Boer, H. J., Price, C. A., Wagner-Cremer, F., Dekker, S. C., Franks, P. J., & Veneklaas, E. J. (2016). Optimal allocation of leaf epidermal area for gas exchange. *New Phytol*, *210*(4), 1219-1228. https://doi.org/10.1111/nph.13929

Dittberner, H., Korte, A., Mettler-Altmann, T., Weber, A. P. M., Monroe, G., & de Meaux, J. (2018). Natural variation in stomata size contributes to the local adaptation of water-use efficiency in Arabidopsis thaliana. *Mol Ecol*, *27*(20), 4052-4065. https://doi.org/10.1111/mec.14838

Dunn, J., Hunt, L., Afsharinafar, M., Meselmani, M. A., Mitchell, A., Howells, R., Wallington, E., Fleming, A. J., & Gray, J. E. (2019). Reduced stomatal density in bread wheat leads to increased water-use efficiency. *J Exp Bot*, *70*(18), 4737-4748. https://doi.org/10.1093/jxb/erz248

Ehdaie, B., Layne, A. P., & Waines, J. G. (2012). Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. *Euphytica*, *186*(1), 219-232. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0585-9

Elsayed, S., Elhoweity, M., Ibrahim, H. H., Dewir, Y. H., Migdadi, H. M., & Schmidhalter, U. (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]

under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, *189*, 98-110. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.001
Enghiad, A., Ufer, D., Countryman, A., & Thilmany, D. (2017). An Overview of Global Wheat Market Fundamentals in an Era of Climate Concerns. *International Journal of Agronomy*, *2017*, 1-15. https://doi.org/10.1155/2017/3931897
Fanourakis, D., Giday, H., Milla, R., Pieruschka, R., Kjaer, K. H., Bolger, M., Vasilevski, A., Nunes-Nesi, A., Fiorani, F., & Ottosen, C. O. (2015). Pore size regulates operating stomatal conductance, while stomatal densities drive the partitioning of conductance between leaf sides. *Ann Bot*, *115*(4), 555-565. https://doi.org/10.1093/aob/mcu247
Franks, P. J., & Beerling, D. J. (2009). Maximum leaf conductance driven by CO2 effects on stomatal size and density over geologic time. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *106*(25), 10343-10347. https://doi.org/10.1073/pnas.0904209106
Hirose, T., Izuta, T., Miyake, H., & Totsuka, T. (1992). Participation of Air Humidity and Water Uptake Ability in the Appearance of Cyclic Changes in the Rates of Photosynthesis and Transpiration of Peanut Plants. *Japanese journal of crop science*, *61*(4), 597-602. https://doi.org/10.1626/jcs.61.597
Jäger, K., Fábián, A., Eitel, G., Szabó, L., Deák, C., Barnabás, B., & Papp, I. (2014). A morpho-physiological approach differentiates bread wheat cultivars of contrasting tolerance under cyclic water stress. *J Plant Physiol*, *171*(14), 1256-1266. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.04.013
Jongrungklang, N., Toomsan, B., Vorasoot, N., Jogloy, S., Boote, K. J., Hoogenboom, G., & Patanothai, A. (2012). Classification of root distribution patterns and their contributions to yield in peanut genotypes under mid-season drought stress. *Field Crops Research*, *127*, 181-190. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.023
Kardiman, R., & Ræbild, A. (2017). Relationship between stomatal density, size and speed of opening in Sumatran rainforest species. *Tree Physiology*, *38*(5), 696-705. https://doi.org/10.1093/treephys/tpx149
Kolahian Hamedanizad, E., Ramshini, H., Ghaderi, M. G., & Fazel Najafabadi, M. (2015). Studying the relationship between root traits and seed yield in bread wheat (Triticum aestivum L.) under normal and terminal drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *8*(1), 1-11.
Koocheki, A. R., Yazdansepas, A., & Mahmadyorov, U. (2013). Evaluation of physiological traits in winter and facultative bread wheat genotypes under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*.
Manschadi, A. M., Christopher, J., Hammer, G., & DeVoil, P. (2010). Experimental and modelling studies of drought-adaptive root architectural traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biosystems*, *144*, 458-462. https://doi.org/10.1080/11263501003731805
Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D., & Amri, A. (2010). Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*, *4*, 27-39.
Moshfeghi, N., Khazaei, H. R., & Kafi, M. (2014). The Study of Morphological Characteristics of Old and New Barely Cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 641-648. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45147
Narayanan, S., Mohan, A., Gill, K. S., & Prasad, P. V. (2014). Variability of root traits in spring wheat germplasm. *PLoS One*, *9*(6), e100317. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100317
Roche, D. (2015). Stomatal Conductance Is Essential for Higher Yield Potential of C3 Crops. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *34*(4), 429-453. https://doi.org/10.1080/07352689.2015.1023677
Saradadevi, R., Bramley, H., Palta, J. A., Edwards, E., & Siddique, K. H. M. (2015). Root biomass in the upper layer of the soil profile is related to the stomatal response of wheat as the soil dries. *Funct Plant Biol*, *43*(1), 62-74. https://doi.org/10.1071/fp15216
Saxena, D. C., Sai Prasad, S. V., Chatrath, R., Mishra, S. C., Watt, M., Prashar, R., Wason, A., Gautam, A., & Malviya, P. (2014). Evaluation of root characteristics, canopy temperature depression and stay green trait in relation to grain yield in wheat under early and late sown conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*, *19*(1), 43-47. https://doi.org/10.1007/s40502-014-0071-1
Shahinnia, F., Le Roy, J., Laborde, B., Sznajder, B., Kalambettu, P., Mahjourimajd, S., Tilbrook, J., & Fleury, D. (2016). Genetic association of stomatal traits and yield in wheat grown in low rainfall environments. *BMC Plant Biol*, *16*(1), 150. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0838-9
Wilkinson, S., Kudoyarova, G. R., Veselov, D. S., Arkhipova, T. N., & Davies, W. J. (2012). Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management. *J Exp Bot*, *63*(9), 3499-3509. https://doi.org/10.1093/jxb/ers148

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.1]