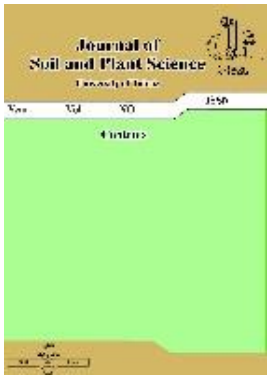
J Soil Plant Sci, 2025, 35(1): 67–84.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.66779.1005

Journal of Soil and Plant Science

E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Agronomic and Yield Responses of Some Dryland Wheat Cultivars to Chemical Fertilizers of Urea and Triple Superphosphate in Hashtrud Region

Roghayeh Shafighi[1], Alireza Pourmohammad[2]✉, Iraj Aslani[3]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: shafighi.ro@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: pourmohammad@ymail.com
3. Hashtrud Agricultural Service Center, Hashtrud, Iran. E-mail: aslani@yahoo.com

Received: April 19, 2025	**Revised:** May 26, 2025
Accepted: May 30, 2025	**Published:** May 31, 2025

Extended Abstracts

Introduction

Nitrogen and phosphorus are among the most important nutrients for optimal performance and play a significant role in increasing crop yield, so that there is little agricultural soil that does not need their use. Given the limitations of using chemical fertilizers in rainfed soils, choosing appropriate cultivars with high absorption efficiency of nitrogen and phosphorus elements is of particular importance. Using cultivars with high efficiency in absorbing nutrients is one of the strategies that can be used to improve nutrition of crops. Increasing the yield of modern wheat cultivars requires the extensive use of inputs such as nitrogen fertilizers, which may lead to increased production costs. Nitrogen deficiency limits crop production more than other nutrients. Nitrogen increases wheat yield by increasing the number of spikes, the number of grains per spike, and the weight of 1,000 grains. Given the importance of selecting varieties with high efficiency in nutrient absorption, this study was conducted to evaluate the efficiency of wheat varieties in absorbing nitrogen and phosphorus nutrients and the existence of variation among varieties in terms of absorption of these nutrients.

Materials and Methods

In order to investigate of rain-fed wheat cultivars in relation to the use of urea and triple superphosphate fertilizers, an experiment was conducted as factorial-split plot design based on randomized complete block (RCBD) with three replications in Hashtrud city in the crop year of 1400-1401. Wheat cultivars were considered as subplot factor at five levels (Hashtrud, Sadra, Homa, Varan and Baran) and urea fertilizers (0 and 60 kg/ha in autumn) and triple superphosphate fertilizers (0 and 30 kg/ha) were considered as main plot factor. The morphological and physiological traits evaluated were as follows: flag leaf length, leaf width, plant height, stem height, number of tillers, number of fertile tillers, main spike length, main spike weight, leaf chlorophyll index (SPAD), single plant weight, thousand grain weight, protein percent, and gluten percent.

Results and Discussion

The difference between the compared wheat genotypes was statistically significant in terms of most traits. The main effect of nitrogen fertilizer was significant for the traits of main spike weight, single plant weight, thousand grain weight, grain yield, protein percentage, and gluten percentage. The main effect of phosphate fertilizer was significant for the traits of main spike weight, stem height, protein percentage, and gluten percentage. In other words, application of nitrogen and phosphorus fertilizers improved the mentioned traits compared to the control. Also, the interaction effect of nitrogen × phosphorus was significant for the traits of flag leaf length, flag leaf

width, plant height, number of tillers, number of fertile tillers, and main spike length. The chlorophyll content index and single plant weight were not significantly affected by nitrogen and phosphorus fertilizers. The positive and significant correlations were observed between stem length, single plant weight, thousand grain weight, and grain yield. In principal components analysis, the first four main components explained 77 % of the total variation. In the principal component analysis based on the average of 14 traits in five rainfed wheat cultivars, the first component explained 30.57% of the total variation. This values for the second, third, and fourth components were 21.95, 13.75, and 10.86%, respectively. For the first component, the traits of single plant weight (0.90), thousand grain weight (0.87), plant height (0.81), main spike length (0.76), and main spike weight (0.66) had large positive coefficients. For the second component, the traits of flag leaf length (0.86), flag leaf width (0.80), number of fertile tillers (0.70), and number of tillers (0.60) had large positive coefficients, and stem height (-0.46), plant height (-0.39), and thousand grain weight (-0.354) had large negative coefficients. For the third component, the traits of tiller number (0.66), stem height (0.59) and number of fertile tillers (0.51) had high positive coefficients and the traits of main spike weight (-0.47), main spike length (-0.43) and gluten percentage (-0.41) had large negative coefficients. In general, the first component can be called the grain yield component. This component can be used in selection for wheat varieties.

Conclusion

Finally, the results of this study showed that optimal nitrogen and phosphorus management can have positive effects on the yield of wheat cultivars. In addition, genetic differences between cultivars play a key role in nutrient efficiency. It is recommended that fertilization management programs be applied based on the specific needs of each wheat variety to achieve optimal performance.

Keywords: Genotype, Gluten percent, Grain yield, Leaf chlorophyll content, Principal component analysis.

Author Contributions

Conceptualization, R.Sh. and A.P.; methodology, R.Sh. and A.P.; software, R.Sh.; validation, I.A.; formal analysis, R.Sh. and A.P.; investigation, R.Sh., A.P and I.A.; resources, R.Sh. and A.P.; data curation, R.Sh. and A.P.; writing—original draft preparation, R.Sh.; writing–review and editing, A.P.; visualization, R.Sh.; supervision, A.P.; project administration, A.P.; funding acquisition, I.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a Master's thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Maragheh, Maragheh, Iran. The authors are thankful to the University of Maragheh for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Shafighi, R., Pourmohammad, A. & Aslani, I. (2025). Agronomic and yield responses of some dryland wheat cultivars to chemical fertilizers of urea and triple superphosphate in Hashtrud region. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 67–84 .
https://doi.org/10.22034/sps.2025.66779.1005

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS

نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۵، شماره ۱، صفحه‌های ۶۷ تا ۸۴، بهار ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22034/sps.2025.66779.1005

Online ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

پاسخ‌های زراعی و عملکرد برخی رقم‌های گندم دیم به کودهای شیمیایی اوره و تریپل سوپرفسفات در منطقه هشترود

رقیه شفیقی[۱]، علیرضا پورمحمد[۲]✉، ایرج اصلانی[۳]

۱-گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: shafighi.ro@gmail.com

۲-نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

رایانامه: pourmohammad@ymail.com

۳-مرکز خدمات کشاورزی هشترود، هشترود، ایران. رایانامه: aslani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۹	تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

چکیده

با توجه به محدودیت استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی دیم، انتخاب رقم‌های مناسب با جذب و کارایی بیشتر نیتروژن و فسفر، اهمیت ویژه‌ای دارد. پاسخ رقم‌های گندم دیم به کودهای اوره و تریپل سوپرفسفات، در یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل-اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان هشترود در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بررسی شد. کود اوره در دو سطح (صفر و ۶۰ کیلوگرم بر هکتار در پاییز) و تریپل سوپرفسفات در دو سطح (صفر و ۳۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و رقم‌های گندم در کرت‌های فرعی در پنج سطح (هشترود، صدرا، هما، واران و باران) در نظر گرفته شدند. تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد مقایسه از نظر اکثر صفات مورد ارزیابی، معنادار بود. تلفیق کودهای اوره و فسفر به‌عنوان بهترین تیمار عملکرد دانه شناخته شد که در رقم باران سبب حداکثر تولید دانه گردید. این تعامل مثبت، بیانگر اثر هم‌افزایی این دو عنصر غذایی بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه بود. رقم هما کمترین عملکرد را در تمامی تیمارها نشان داد که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی در جذب و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر بود. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، چهار مؤلفه اصلی اول، ۷۷ درصد از تنوع کل را توجیه کردند. مؤلفه اول، عملکرد دانه نامگذاری گردید که از آن می‌توان برای گزینش رقم‌های گندم استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد بهینه نیتروژن و فسفر می‌تواند بر عملکرد رقم‌های گندم اثرهای مثبت داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، درصد گلوتن، ژنوتیپ، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه

استناد به این مقاله: شفیقی، ر.، پورمحمد، ع. و اصلانی، ا. (۱۴۰۴). پاسخ‌های زراعی و عملکرد برخی رقم‌های گندم دیم به کودهای شیمیایی اوره و تریپل سوپرفسفات در منطقه هشترود. *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳۵(۱)، ۸۴-۶۷.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.66779.1005

مقدمه

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی پرمصرف است که در ساختمان مولکول‌های پروتئینی، آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها، اسیدهای نوکلئیک، سیتوکروم‌ها و انواع کلروفیل شرکت دارد (Hassegawa et al., 2008; Marschner, 2012). افزایش عملکرد رقم‌های مختلف گندم‌های امروزی، نیازمند کاربرد زیاد نهاده‌هایی مانند کودهای نیتروژنی است که ممکن است به افزایش هزینه‌های تولید منجر شود ولی در خاک‌های با ماده آلی کم، ضرورت دارد (Guarda et al., 2004). نیتروژن به‌دلیل وظایف متعدد و با اهمیتی که در فرایندهای حیاتی گیاه انجام می‌دهد، عنصری است که کمبود آن بیش از سایر عناصر، تولید گیاهان زراعی را محدود می‌کند. بهبود زیست‌فراهمی نیتروژن برای گیاه می‌تواند میزان پروتئین دانه، غلظت کلروفیل برگ و اندازه و حجم پروتوپلاسم یاخته‌ها، سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی را افزایش دهد (Delfin et al., 2005). نیتروژن از طریق افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه سبب افزایش عملکرد گندم می‌شود. به‌طور کلی، کود نیتروژن بر اجزای عملکرد گندم تأثیر مستقیم هستند (Hatfield & Prueger, 2004). بنابراین، باید ژنوتیپ‌هایی را پیدا کرد که قادر به جذب غلظت‌های بالای نیتروژن باشند و یا اینکه به‌دلیل برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی خاص، کارایی مصرف نیتروژن بالایی داشته باشند. بنابراین، کاربرد بهینه نیتروژن و استفاده از ژنوتیپ‌هایی که از نیتروژن بکار رفته استفاده بهینه‌ای نمایند، می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش عملکرد دانه داشته باشد (Barati et al., 2015).

کارایی مصرف نیتروژن[1] در گندم احتمالاً طی بهبود ژنتیکی گیاهان زراعی و بر اثر عملیات مدیریتی همانند مقادیر کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد (Semenov et al., 2007). محققان با بررسی رقم‌های قدیمی و جدید گندم بیان کردند که افزایش عملکرد از طریق مصرف کود به‌ویژه نیتروژن، با تغییر اساسی هم در اجزای عملکرد و هم در خصوصیات مورفولوژیکی گیاه، همراه بوده است (Guarda et al., 2004). استفاده از رقم‌های با قدرت بالای جذب و ذخیره عناصر غذایی، یکی از راهبردهایی است که می‌تواند در بهبود کارایی عناصر غذایی در محصولات کشاورزی اثر داشته باشد. جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان، به‌وسیله ژن‌ها کنترل می‌شود. متاسفانه به‌نژادگران به صفات کارایی جذب برای افزایش توانایی محصولات کشاورزی مهم در جذب عناصر غذایی، توجه چندانی نداشته‌اند و امکان دارد به‌طور غیرعمدی، صفات بهره‌وری عناصر را در طی گزینش ژنتیکی برای صفات مرتبط با عملکرد بالا از دست بدهند (Ortiz et al., 2002).

در ژنوتیپ‌های مختلف جو بهاره، تنوع ژنتیکی و محیطی برای کارایی مصرف نیتروژن در شرایط مزرعه‌ای گزارش شده است؛ به این صورت که یکی از رقم‌های مورد آزمایش هم در شرایط با نیتروژن کم و هم بالا، کارایی بالایی را در مصرف نیتروژن نشان داد و کاهش در عملکرد برای این رقم در خاک‌های با نیتروژن کم، کمتر از ۱۰ درصد بود (Anbessa et al., 2009). پژوهشگران عنوان کرده‌اند که بهبود ژنتیکی رقم‌های گندم و یولاف برای کارایی مصرف نیتروژن روی داده است در حالی که پیشرفت مشابهی به لحاظ ژنتیکی در جو دو ردیفه رخ نداده است (Ortiz et al., 2002; Muurinen et al., 2007).

کاهش منابع آبی از یک سو و ضرورت تأمین امینت غذایی از سوی دیگر موجب شده‌است تا توسعه زراعت دیم برای بخش عمده‌ای از فعالیت‌های کشاورزی کشور توصیه شود. همچنین، با توجه به کمبود آب در بسیاری از مناطق، کشت گندم دیم به حفظ منابع آب زیرزمینی کمک می‌کند و معمولاً با روش‌های کشاورزی پایدارتر همراه است و به کاهش فرسایش خاک و کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک می‌کند. نیتروژن و فسفر، از مهمترین عناصر غذایی برای دستیابی به عملکرد مطلوب و دارای نقش بسزایی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشند به‌طوری که کمتر خاک زراعی است که

[1] Nitrogen Use Efficiency

نیاز به مصرف آن‌ها نداشته باشد. با توجه به محدودیت‌ها، برای مصرف کودهای شیمیایی در اراضی دیم، انتخاب رقم‌های مناسب کشت با جذب و بازدهی بالای مصرف نیتروژن و فسفر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اهمیت انتخاب رقم‌هایی با کارایی بالا در جذب عناصر غذایی، این پژوهش برای ارزیابی کارایی رقم‌های گندم در جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر و وجود تنوع بین رقم‌ها از نظر جذب این عناصر انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شرایط مزرعه‌ای و در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل-اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در بخش نظرکهریزی شهرستان هشترودآ استان آذربایجان شرقی، ایران انجام شد. مختصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش به‌صورت ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۴۶ دقیقه و ۴۳ دقیقه شرقی بود. اقلیم منطقه هشترود، نیمه‌خشک سرد، میانگین حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال، ۲۶ تا ۳۲ و میانگین کمینه درجه حرارت سردترین ماه ۱۰ تا ۱۸ درجه سلسیوس است. مقدار بارندگی سالانه ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۶ تا ۱۱ درجه سلسیوس و تعداد روزهای یخبندان ۹۶ تا ۱۸۰ روز در سال است (Anonymous, 2023).

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از اجرای آزمایش را نشان می‌دهد. عناصر در آزمایشگاه سهندآزما در شهر مراغه اندازه‌گیری گردید. میزان pH به روش گل اشباع اندازه‌گیری شد (Jones, 2001). کودهای اوره (صفر و ۶۰ کیلوگرم بر هکتار) و تریپل سوپرفسفات (صفر و ۳۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و رقم‌های گندم در کرت‌های فرعی در پنج سطح (رقم‌های هشترود، صدرا، هما، واران و باران) در نظر گرفته شدند. کودها از سهمیه کشاورزان تهیه شد که اوره ۴۶ درصد نیتروژن و تریپل سوپرفسفات ۲۰ درصد فسفر داشت. مقادیر سطوح کودی با توجه به مطالعات قبلی (Roostaei et al., 2022)، سطوح رایج در منطقه و نتایج آزمون خاک انتخاب گردید. نصف کود اوره مورد نیاز، هنگام کاشت گندم دیم در پاییز و نصف باقی‌مانده بعد از بهار به‌صورت سرک استفاده گردید. کود فسفر نیز هم‌زمان با کاشت و مخلوط با خاک استفاده شد.

رقم‌های مورد مطالعه، از رقم‌هایی انتخاب شدند که در منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاشت در اواسط آبان ماه به‌صورت دستی و برداشت آن در اواخر تیر ماه انجام شد. صفات مورد مطالعه عبارت بودند از طول برگ پرچم (از محور گوشوارک‌ها تا انتها به‌وسیله خط‌کش با دقت میلی‌متر)، عرض برگ پرچم (عریض‌ترین بخش برگ پرچم به وسیله خط‌کش با دقت میلی‌متر)، ارتفاع بوته (ارتفاع بوته‌ها از سطح خاک تا انتهای سنبله بدون در نظر گرفتن ریشک با دقت یک میلی‌متر)، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور، طول سنبله اصلی (از قاعده تا انتهای سنبله بدون در نظر گرفتن ریشک با دقت یک میلی‌متر)، وزن سنبله اصلی، وزن تک بوته (برداشت تمام بوته‌های موجود در یک متر مربع و محاسبه وزن میانگین برای هر تک بوته)، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین، درصد گلوتن و شاخص کلروفیل (توسط دستگاه کلروفیل‌تر مدل SPAD 502 Plus ساخت ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در پنج بوته). پیش از تجزیه داده‌ها، مفروضات تجزیه واریانس مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد. همبستگی صفات مورد مطالعه محاسبه و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای کاهش صفات انجام گردید. تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از اجرای آزمایش

سدیم تبادلی (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100 g)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (%)	pH	EC_e (dS/m)
۶/۴	۲۵/۴	۳۳/۵	۳۱/۲	۳۵/۳	۱	۰/۰۶	۷/۷	۲/۹

ادامه جدول ۱-غلظت عنصرهای غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک

P	K	Mn	Fe	Cu	Zn
(mg/kg)					
۸/۴	۱۶۴/۷	۹/۲	۶/۴	۱/۲	۰/۲۴

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نیتروژن برای صفات وزن سنبله اصلی، وزن تک بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین و درصد گلوتن و اثر اصلی فسفر برای صفات وزن سنبله اصلی، ارتفاع ساقه، درصد پروتئین و درصد گلوتن معنادار بود. به عبارت دیگر، کاربرد آن‌ها در مقایسه با شاهد، باعث افزایش صفات مذکور گردید. همچنین، اثر متقابل نیتروژن × فسفر برای صفات طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و طول سنبله اصلی معنادار بود. تنها صفتی که تحت تأثیر کود قرار نگرفت، شاخص کلروفیل برگ‌ها بود (جدول ۲). با این حال، Salimi Tarazoj et al. (2025) گزارش کردند که مصرف کود فسفر سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های کلزا شد. Markarian et al. (2016) مشاهده کردند که مصرف کود فسفر شاخص کلروفیل برگ‌های یونجه را به‌طور معناداری افزایش داد. Kazemalilou et al. (2018) افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های آفتابگردان با مصرف کود تریپل سوپرفسفات را مشاهده کردند. با مصرف کود اوره، افزایش شاخص کلروفیل برگ‌ها در گیاه اسفناج به‌وسیله Kalantari et al. (2018)، در گیاه ذرت به‌وسیله Sadeghi Saadatlou et al. (2019)، در گیاه برنج به‌وسیله Maghsoodi et al. (2025) گزارش شده‌است. مصرف مقادیر بالاتر کودهای شیمیایی با گسترش سطح ریشه و جذب بیشتر آب و مواد غذایی، رشد رویشی گیاه را تحریک کرده و در نتیجه دوره رشد رویشی افزایش می‌یابد. ارتفاع بیشتر در گیاهان نشانگر سطح فتوسنتز کننده و تولید مواد متابولیکی بیشتر است که موجب افزایش عملکرد در گیاه می‌شود. با کاربرد کود فسفر به‌دلیل جذب و انتقال بهتر مواد غذایی پرمصرف مثل نیتروژن و فسفر به گیاه و نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، میزان ارتفاع ساقه افزایش می‌یابد. اصولاً علت افزایش ارتفاع بر اثر کاربرد اوره را می‌توان به اثر تشدید کنندگی نیتروژن در رشد رویشی و تقسیم یاخته‌ها در اندام گیاه به‌ویژه ساقه نسبت داد (Abdel-Wahab et al., 2021).

اثر اصلی رقم روی صفات تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور، شاخص کلروفیل و درصد گلوتن معنادار بود. رقم هشترود دارای بیشترین پنجه و رقم‌های هما و واران دارای کمترین پنجه بودند. بیشترین پنجه بارور متعلق به رقم صدرا و کمترین آن متعلق به رقم‌های هشترود، واران و هما بود. رقم واران و هما دارای بیشترین شاخص کلروفیل و سایر رقم‌های دارای کمترین آن بودند. رقم‌های باران و هشترود دارای بیشترین و کمترین درصد گلوتن بودند. اثر متقابل دوجانبه اوره×رقم برای صفات وزن سنبله اصلی و درصد پروتئین، اثر متقابل دوجانبه فسفات × رقم برای صفات وزن سنبله اصلی و ارتفاع ساقه معنادار بود. کاربرد کود اوره با رقم هشترود دارای بیشترین درصد پروتئین (۱/۷۵) و رقم‌های هما، باران و واران دارای کمترین آن در سطح شاهد کود نیتروژن بودند. اثر متقابل سه جانبه نیتروژن × فسفر × رقم برای صفات طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، ارتفاع بوته، طول سنبله اصلی، وزن تک بوته و وزن هزار دانه معنادار بود. رقم صدرا

با کاربرد کودهای اوره و تریپل سوپرفسفات دارای بیشترین طول و عرض برگ پرچم بود (شکل‌های ۱ و ۲). طول سنبله اصلی دارای بیشترین مقدار با در رقم باران با کاربرد کودهای اوره و تریپل سوپرفسفات و نیز کاربرد اوره در رقم باران بود (شکل ۳).

وزن تک بوته و وزن هزار دانه دارای بیشترین مقادیر در رقم‌های هشترود و باران با کاربرد کودهای اوره و تریپل سوپرفسفات بود (شکل‌های ۴ و ۵). طول و وزن سنبله اصلی یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه محسوب می‌شود؛ زیرا سنبله حاوی دانه‌ها بوده و در مراحل اولیه پر شدن دانه از طریق انجام فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها مشارکت می‌کنند. می‌توان اظهار داشت که استفاده از کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر از طریق تغذیه مناسب و افزایش توان فتوسنتزی گیاه موجبات افزایش گلدهی و بهبود اندازه و وزن سنبله‌ها در بوته را فراهم می‌آورد. افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه به‌ویژه نیتروژن باعث تحریک رشد گیاه و افزایش رشد سبزینه و تعداد سنبله در بوته می‌شود. احتمالاً بهبود تولید ترکیبات محرک رشد به‌وسیله کودهای مورد استفاده به‌ویژه نیتروژن باعث جذب سایر عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی مواد می‌باشد و در تحریک رشد گیاه و افزایش تعداد سنبله در بوته نقش دارد (Khursheed et al., 2015). در همین مورد، El-Sorady et al. (2022) گزارش دادند که کاربرد کودهای فسفر و نیتروژن موجب افزایش طول و وزن سنبله در گیاه گندم شد.

Swailam et al. (2021) در بررسی تأثیر تغذیه نیتروژن و فسفر در مراحل نموی بر عملکرد دانه و طول سنبله گندم دیم به این نتیجه رسیدند که نیتروژن می‌تواند صفات آگرونومیکی را به نحو مطلوبی افزایش دهد. Hussain et al. (2021) گزارش دادند که کاربرد کودهای شیمیایی موجب افزایش طول و وزن سنبله گندم نان شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین شاخص کلروفیل برگ‌ها با کاربرد ۶۰ کیلوگرم بر هکتار کود شیمیایی اوره به‌دست آمد. در دسترس بودن عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر غلظت کلروفیل گیاهان تأثیر بگذارد. بنابراین، غلظت کلروفیل بالاتر با کاربرد کودهای شیمیایی را می‌توان با افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن که باعث افزایش سرعت فتوسنتزی و پارامترهای رشد گیاه می‌شود، توضیح داد. بهبود شاخص کلروفیل با مصرف کود فسفر، می‌تواند به‌دلیل وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان کوددهی شده باشد. فسفر به‌عنوان حامل انرژی در طی فرایند فتوسنتز عمل می‌نماید. جذب بالاتر مواد غذایی مانند فسفر، آهن و روی باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ می‌شود. کود شیمیایی فسفر می‌تواند موجب دسترسی بیشتر گیاه به نیتروژن شود، به همین دلیل، جذب و انتقال نیتروژن به برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه ساخت کلروفیل بیشتر می‌شود (Majidi, 2014). افزایش وزن هزار دانه و بهبود عملکرد دانه گندم با افزایش مصرف نیتروژن گزارش شده است (Vaziri, et al., 2022). Horvat et al. (2021) گزارش کردند که کاربرد نیتروژن ۵۰ کیلوگرم بر هکتار باعث افزایش گلوتن گندم نان شد. در پژوهش دیگری، افزایش درصد گلوتن گندم با کاربرد کودهای شیمیایی گزارش شد (De Santis et al., 2020).

ترکیب نیتروژن ۶۰ و فسفر ۳۰ به‌عنوان بهترین تیمار عملکردی شناخته شد که در رقم باران سبب حداکثر تولید دانه گردید. این تعامل مثبت، بیانگر اثر هم‌افزایی این دو عنصر غذایی بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه بود. رقم هما کمترین عملکرد را در تمامی تیمارها نشان داد که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی در جذب و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر بود. یافته‌های این پژوهش با نتایج برخی تحقیقات دیگر همخوانی داشت. به‌عنوان‌مثال، Najafi et al. (2019) افزایش عملکرد دانه و کاه گندم با مصرف کود اوره را گزارش کردند. Kazemalilou et al. (2023) افزایش معنادار محصول دانه آفتابگردان را با مصرف کود تریپل سوپرفسفات گزارش نمودند. مطالعات Litke et al. (2018) نیز تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش تعداد دانه و عملکرد نهایی گندم نشان داده‌اند. آنان نشان دادند که کاربرد نیتروژن، به‌ویژه در مراحل زایشی، باعث افزایش

سرعت پر شدن دانه و در نتیجه بهبود عملکرد می‌شود. Azimzadeh et al. (2020) گزارش کردند که محصول ذرت با مصرف کود تریپل سوپرفسفات (مونوکلسیم فسفات) به‌طور معنادار افزایش یافت. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که پاسخ رقم‌های مختلف به مصرف کودهای نیتروژن و فسفر ممکن است متفاوت باشد. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه‌ای که به‌وسیله Meier et al. (2024) انجام شد، برخی رقم‌های گندم به‌دلیل کارایی کم در مصرف نیتروژن، عملکرد کمتری در شرایط کوددهی نیتروژنی نشان دادند. این موضوع تا حدی با نتایج رقم هما در این تحقیق همخوانی داشت.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی با رقم‌های مختلف گندم و کودهای اوره و فسفره

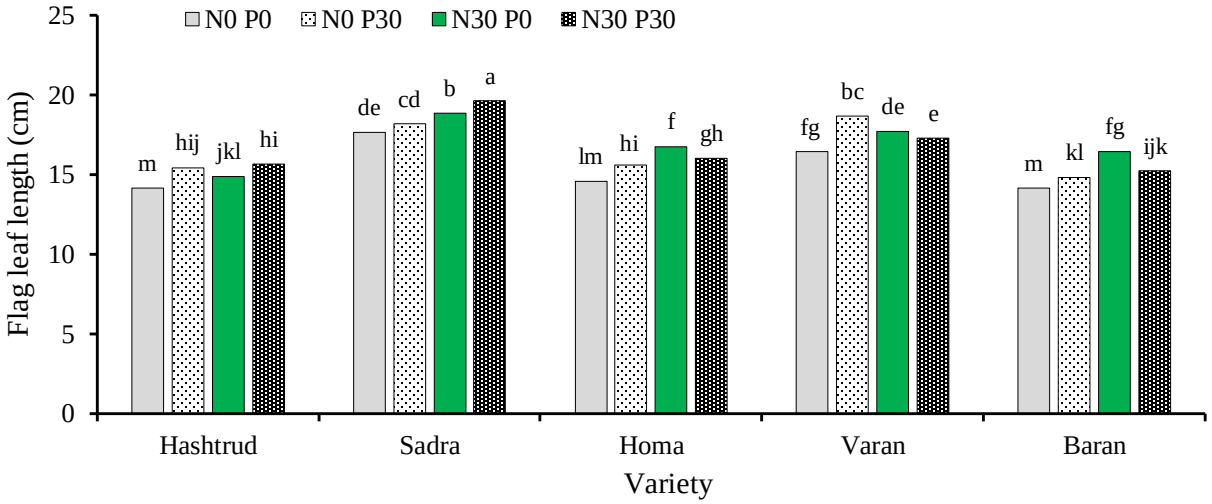
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول برگ پرچم	عرض برگ پرچم	ارتفاع بوته	تعداد پنجه	تعداد پنجه بارور	طول سنبله اصلی	وزن سنبله اصلی
بلوک	۲	۰/۰۲۶**	۰/۱۰۰ns	۰/۱۳۰ns	۰/۰۳۲ns	۰/۰۴۶ns	۰/۰۱۶ns	۰/۲۳۵ns
نیتروژن	۱	۳/۵۷۷**	۰/۰۷۵**	۲۹۵/۲**	۰/۰۳۳ns	۰/۴۷۸ns	۲۰/۴۴**	۰/۳۵۷**
فسفات	۱	۱۱/۷۳۱**	۰/۰۳۷**	۱۸/۶۳**	۰/۴۱۷**	۰/۱۳۱ns	۲/۷۸**	۰/۳۰۴*
نیتروژن×فسفات	۱	۶/۴۸۸**	۰/۰۵۸**	۰/۱۰۹ns	۱/۵۳۶**	۰/۶۰۰**	۲/۳۵**	۰/۰۱۵ns
خطای اصلی	۶	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱	۰/۳۵۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۵
رقم	۴	۲۹/۵۶**	۰/۱۳۶**	۱۴۷/۱**	۰/۲۹۷**	۰/۲۰۶**	۱/۳۸**	۰/۷۵۵**
نیتروژن × رقم	۴	۰/۹۲۲**	۰/۰۱۰**	۹/۰۱**	۰/۰۲۶ns	۰/۰۲۲ns	۰/۳۸۰**	۰/۵۲۸**
فسفات × رقم	۴	۱/۲۰۵**	۰/۰۱۰**	۰/۱۴۶**	۰/۰۰۳ns	۰/۰۳۱ns	۰/۰۵۰ns	۰/۲۹۸**
نیتروژن × فسفات × رقم	۴	۰/۹۹۴**	۰/۰۲۳**	۰/۶۵۱**	۰/۰۳۳ns	۰/۰۱۰ns	۰/۲۱۶**	۰/۰۰۵ns
خطای فرعی	۳۲	۰/۱۰۳	۰/۰۰۱	۰/۴۲۴	۰/۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۳۹	۰/۰۵۵
ضریب تغییرات ٪		۱/۹۶	۲/۷۹	۰/۷۷	۷/۵۸	۸/۷۷	۲/۹۲	۱۷/۴

**، * و ns به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنادار

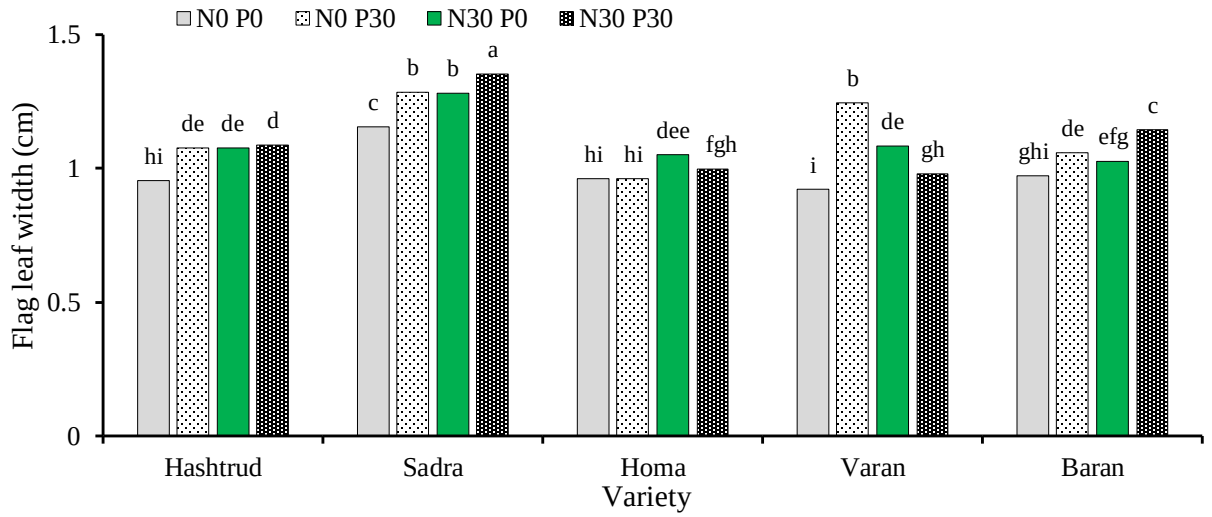
ادامه جدول ۲

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص کلروفیل	وزن تک بوته	وزن هزار دانه	درصد پروتئین	درصد گلوتن
بلوک	۲	۹/۴۲^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۱/۸۱^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۷۵۹^{ns}
نیتروژن	۱	۵۵/۸ ^{ns}	۰/۹۵۸^{ns}	۲۳۶/۸**	۰/۷۲۶**	۸۱/۳**
فسفات	۱	۱۲۶/۸^{ns}	۰/۱۳۶^{ns}	۹۶/۱**	۰/۰۴۳*	۷/۱۶*
نیتروژن×فسفات	۱	۱۷۹/۵*	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۵۳۸^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۳/۵۴*
خطای اصلی	۶	۳۲/۰۰۶	۰/۰۴۶	۰/۶۹۶	۰/۰۰۵	۰/۶۵۰
رقم	۴	۲۲۸/۸**	۰/۰۵۴**	۷۴/۲**	۰/۳۲۵**	۳۱/۴**
نیتروژن × رقم	۴	۲۶/۰۶^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۶۹۹^{ns}	۰/۰۱۲*	۰/۷۲۵^{ns}
فسفات × رقم	۴	۲۹/۷^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۱۹۹^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۹۰۲^{ns}
نیتروژن × فسفات × رقم	۴	۱۷/۷^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۸۴۷*	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۴۶۷^{ns}
خطای فرعی	۳۲	۲۴/۶	۰/۰۰۱	۰/۳۱۶	۰/۰۰۴	۰/۶۰۲
CV (%)		۱۱/۴	۱/۲۰	۱/۳۰	۴/۵۶	۲/۶۴

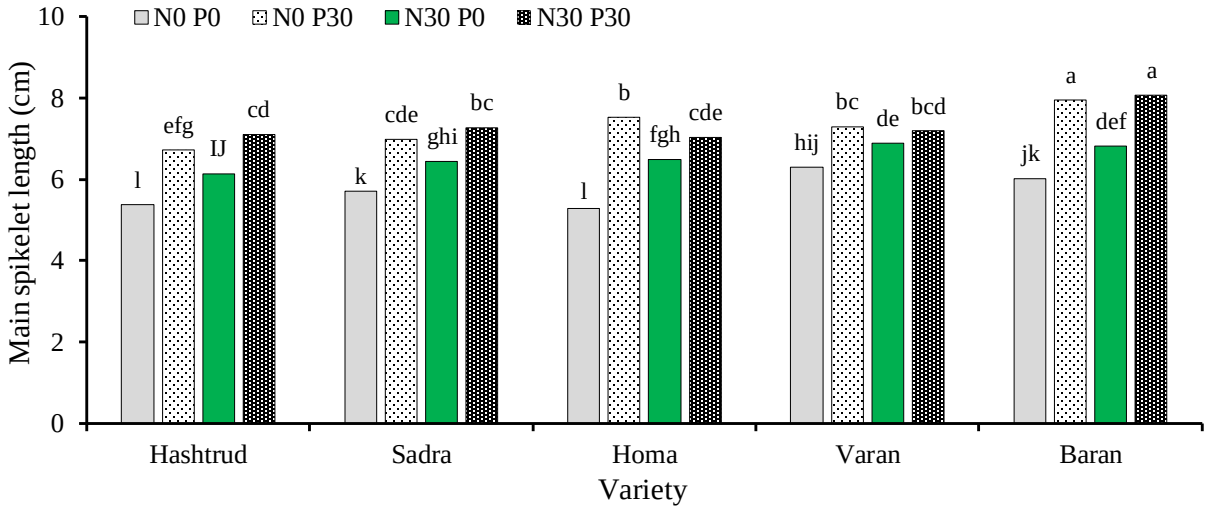
**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنادار



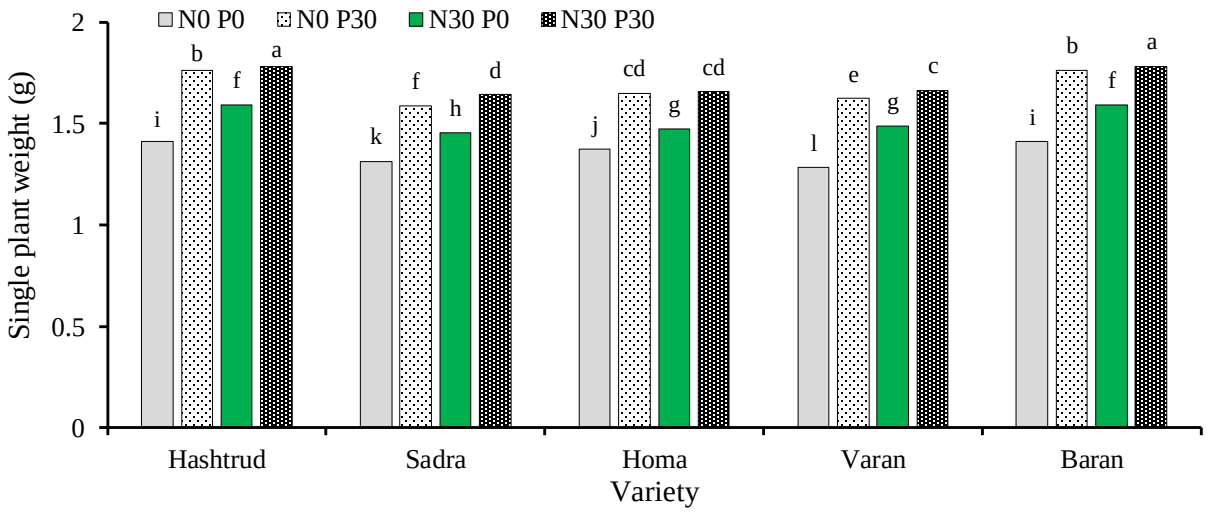
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های طول برگ پرچم برای اثر متقابل سه جانبه رقم، اوره و تریپل سوپرفسفات.
میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک، از نظر آماری تفاوت معنادار ندارند.



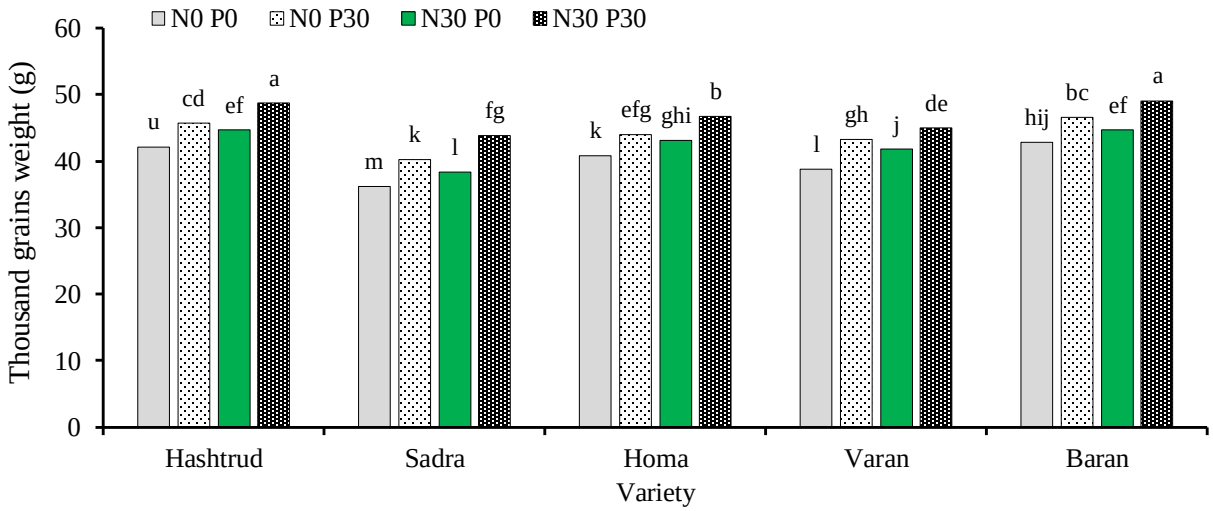
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های عرض برگ پرچم برای اثر متقابل سه جانبه رقم، اوره و تریپل سوپرفسفات.
میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک، از نظر آماری تفاوت معنادار ندارند.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های طول سنبله اصلی برای اثر متقابل سه جانبه رقم، اوره و تریپل سوپرفسفات.
میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک، از نظر آماری تفاوت معنادار ندارند.



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های وزن تک بوته گندم برای اثر متقابل سه جانبه رقم، اوره و تریپل سوپرفسفات.
میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک، از نظر آماری تفاوت معنادار ندارند.



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه گندم برای اثر متقابل سه جانبه رقم، اوره و تریپل سوپرفسفات.
میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک، از نظر آماری تفاوت معنادار ندارند.

همبستگی صفات مورد مطالعه

به منظور بررسی رابطه بین صفات در این آزمایش، همبستگی ساده بین این صفات محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارایه شده است. همبستگی مثبت و معناداری بین صفات طول ساقه، وزن تک بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشاهده گردید. همبستگی مثبت و معناداری بین طول برگ پرچم با صفات عرض برگ پرچم و تعداد پنجه بارور همچنین همبستگی منفی معناداری بین طول برگ پرچم با صفت ارتفاع بوته و ارتفاع ساقه وجود دارد. همبستگی مثبت و معناداری بین عرض برگ پرچم با صفات تعداد پنجه و تعداد پنجه بارور وجود داشت. همبستگی مثبت و معناداری بین ارتفاع بوته با صفات ارتفاع ساقه، وزن تک بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشاهده گردید. طول سنبله اصلی با صفات وزن سنبله اصلی، وزن تک بوته، وزن هزار دانه و درصد گلوتن همبستگی مثبت و معناداری دارد. وزن سنبله اصلی با صفات وزن تک بوته، وزن هزار دانه و درصد گلوتن همبستگی مثبت و ارتفاع ساقه نیز با صفت وزن هزار دانه همبستگی مثبت وجود داشت. وزن تک بوته با وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد گلوتن همبستکی مثبت و معناداری داشت. همچنین بیشترین ضریب همستگی وزن هزار دانه با عملکرد دانه داشت. در مطالعه‌ای روی رقم‌های گندم، ارتباط مثبتی بین صفات تعداد سنبلچه در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبلچه در سنبله با عملکرد دانه یافت گردید (BabaeiZarch et al., 2014). در مطالعه‌ای بر روی گندم گزارش شد که بین عملکرد و صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد روز تا رسیدگی همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت (Sadegh Qol Moghadam et al., 2011).

جدول ۳- همبستگی صفات مورد مطالعه

	طول برگ پرچم	عرض برگ پرچم	ارتفاع بوته	تعداد پنجه	تعداد پنجه بارور	طول سنبله اصلی	وزن سنبله اصلی	شاخص کلروفیل	وزن تک بوته	وزن هزار دانه	درصد پروتئین	عملکرد دانه	درصد گلوتن
طول برگ پرچم	۱												
عرض برگ پرچم	۰/۷۵۸**	۱											
ارتفاع بوته	-۰/۴۵۳*	-۰/۰۱۹	۱										
تعداد پنجه	۰/۳۶۸	۰/۵۶۸**	۰/۰۷۸	۱									
تعداد پنجه بارور	۰/۴۹۳*	۰/۶۱۹**	-۰/۰۴۲	۰/۸۸۲**	۱								
طول سنبله اصلی	۰/۲۳۹	۰/۳۰۴	۰/۳۵۰	۰/۰۸۵	۰/۱۴۸	۱							
وزن سنبله اصلی	۰/۰۴۴	۰/۲۱۱	۰/۳۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۹۹	۰/۸۰۲**	۱						
شاخص کلروفیل	۰/۲۸۹	۰/۰۰۵	-۰/۱۶۳	-۰/۰۵۱	-۰/۲۵۳	۰/۲۶۴	-۰/۰۷۵	۱					
وزن تک بوته	-۰/۰۴۵	۰/۲۲۴	۰/۷۷۹**	۰/۱۶۹	۰/۰۸۹	۰/۸۰۸**	۰/۶۵۶**	۰/۱۶۴	۱				
وزن هزار دانه	-۰/۳۸۰	-۰/۱۳۷	۰/۸۱۱**	-۰/۱۳۴	-۰/۲۲۷	۰/۶۲۹**	۰/۵۲۹*	۰/۱۶۱	۰/۸۶۵**	۱			
درصد پروتئین	-۰/۱۴۷	-۰/۰۱۲	-۰/۰۵۲	-۰/۰۵۵	-۰/۰۰۸	-۰/۲۰۲	-۰/۳۱۰	-۰/۲۷۰	-۰/۲۵۳	-۰/۱۵۷	۱		
عملکرد دانه	۰/۰۲۹	۰/۲۸۰	۰/۶۲۴**	۰/۰۹۴	-۰/۰۷۰	۰/۲۳۹	۰/۱۱۹	۰/۰۸۰	۰/۶۱۱**	۰/۴۷۹*	-۰/۳۰۴	۱	
درصد گلوتن	۰/۲۲۵	۰/۳۹۰	۰/۲۴۰	۰/۰۴۴	۰/۲۱۲	۰/۶۹۲**	۰/۷۶۳**	-۰/۲۵۱	۰/۵۱۰*	۰/۳۵۸	۰/۲۲۹	-۰/۰۲۳	۱

** و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات زراعی

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۴) بر اساس میانگین ۱۴ صفت در پنج رقم گندم دیم، مؤلفه اول ۳۰/۵۷ درصد از تنوع کل را تبیین کرد. این مقدار برای مؤلفه‌های دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۲۱/۹۵، ۱۳/۷۵ و ۱۰/۸۶ درصد بود. برای مؤلفه اول صفات وزن تک بوته (۰/۹۰۰) ، وزن هزار دانه (۰/۸۷۰)، ارتفاع بوته (۰/۸۱۳)، طول سنبله اصلی (۰/۷۶۴) و وزن سنبله اصلی (۰/۶۶۱) دارای ضرایب مثبت بزرگ بودند. برای مؤلفه دوم، صفات طول برگ پرچم (۰/۸۵۷)، عرض برگ پرچم (۰/۸۰۱)، تعداد پنجه بارور (۰/۷۰۰) و تعداد پنجه (۰/۵۹۸) ضرایب مثبت بزرگ داشتند و ارتفاع ساقه (۰/۴۶۳-)، ارتفاع بوته (۰/۳۹۳-) و وزن هزار دانه (۰/۳۵۴-) ضرایب منفی بزرگ داشتند. برای مؤلفه سوم صفت تعداد پنجه (۰/۶۵۹)، ارتفاع ساقه (۰/۵۹۲) و تعداد پنجه بارور (۰/۵۰۹) دارای ضرایب مثبت بالا و صفات وزن سنبله اصلی (۰/۴۶۸-)، طول سنبله اصلی (۰/۴۲۸-) و درصد گلوتن (۰/۴۱۴-) دارای ضرایب منفی بزرگ بودند. در مجموع می‌توان مؤلفه اول را مؤلفه عملکرد دانه نامگذاری کرد. از این مؤلفه می‌توان در امر گزینش برای رقم‌های گندم استفاده کرد. در بررسی تنوع موجود در بین ۲۶ رقم جو تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سبب شناسایی ۴ مؤلفه اصلی اول که ۸۷ درصد از تنوع کل را در بر می‌گرفت، گردید (Hamza et al., 2004). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر (Khan et al., 2010) با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی لاین‌های گندم نان، سه مؤلفه اصلی اول ۸۳/۶۰ درصد از تنوع ژنتیکی را توجیه کردند که نشان داد صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، رسیدگی و عملکرد دانه، صفات اصلی در آزمایش بودند. در آزمایشی دیگر بر روی ۳۶ ژنوتیپ گندم بر اساس تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، پنج مؤلفه اول بیش از ۹۷ درصد از تنوع ژنتیکی را توجیه کرد (Khodadadi et al., 2011).

جدول ۴- ضرایب صفات مورد بررسی در مؤلفه‌های حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

صفت	مؤلفه			
	۱	۲	۳	۴
طول برگ پرچم	-۰/۱۰۲	۰/۸۵۷	-۰/۰۸۵	۰/۳۰۲
عرض برگ پرچم	۰/۲۳۱	۰/۸۰۱	۰/۲۱۱	۰/۰۷۰
ارتفاع بوته	۰/۸۱۳	-۰/۳۹۳	۰/۲۹۹	-۰/۰۸۱
تعداد پنجه	۰/۱۶۷	۰/۵۹۸	۰/۶۵۹	-۰/۰۵۱
تعداد پنجه بارور	۰/۱۰۸	۰/۷۰۰	۰/۵۰۹	-۰/۲۱۹
طول سنبله اصلی	۰/۷۶۴	۰/۳۲۲	-۰/۴۲۸	۰/۰۶۸
وزن سنبله اصلی	۰/۶۶۱	۰/۲۶۶	-۰/۴۶۸	-۰/۲۲۷
شاخص کلروفیل	۰/۰۳۲	۰/۰۵۹	-۰/۲۲۲	۰/۷۰۵
وزن تک بوته	۰/۹۰۰	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۹	۰/۱۸۱
وزن هزار دانه	۰/۸۷۰	-۰/۳۵۴	-۰/۰۷۳	۰/۰۲۲
عملکرد دانه	-۰/۱۵۲	-۰/۰۳۹	-۰/۰۰۴	-۰/۵۸۶
درصد پروتئین	۰/۵۸۱	-۰/۱۱۶	۰/۳۳۳	۰/۴۳۵
درصد گلوتن	۰/۵۵۴	۰/۴۰۴	-۰/۴۱۴	-۰/۴۸۱

نتیجه‌گیری کلی

تفاوت بین ژنوتیپ‌های گندم دیم مورد مقایسه از لحاظ اکثریت صفات مورد ارزیابی، معنادار بود. در تجزیه همبستگی، ارتباط مثبت و معناداری بین صفات ارتفاع ساقه، وزن تک بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشاهده گردید. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، چهار مؤلفه اصلی اول ۷۷ درصد از تنوع کل را توجیه کردند. سهم مؤلفه اول ۳۰/۵۷ درصد و مؤلفه‌های دوم و سوم به‌ترتیب ۲۱/۹۵ و ۱۳/۷۵ درصد بود. بر اساس نتایج این تجزیه مؤلفه اول نمایانگر عملکرد دانه بود که از آن می‌توان در امر گزینش برای ژنوتیپ‌های گندم دیم پاییزه استفاده کرد. در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که مدیریت بهینه نیتروژن و فسفر می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد رقم‌های گندم داشته باشد. علاوه‌بر این، تفاوت‌های ژنتیکی بین رقم‌های، نقشی کلیدی در بهره‌وری از عناصر غذایی ایفا می‌کنند. پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به عملکرد بهینه، برنامه‌های مدیریتی کوددهی بر اساس نیازهای خاص هر رقم تنظیم شود.

منابع مورد استفاده

References

Abdel-Wahab, S.I., Aioub, A.A., Salem, R.E., & El-Sobki, A.E. (2021). Electrophoretic banding patterns of protein induced by pinoxaden, tribenuron-methyl, and pyroxsulam herbicides in wheat leaves (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 30077-30089. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12676-5

Azimzadeh, Y., Najafi, N., Reyhanitabar, A., Oustan, S., & Khataee, A. (2020). Effects of phosphate loaded LDH-biochar/hydrochar on maize dry matter and P uptake in a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(12), 1649–1664. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1802012

Anbessa, Y., Juskiw, P., Good, A., Nyachiro J., & Helm, J. (2009). Genetic variability in nitrogen use efficiency of spring barley. Crop Science, 49: 1259–1269. https://doi.org/10.2135/cropsci2008.09.0566

Anonymous. (2023). *Meteorological Yearbook 2021-2022*. General Meteorological Office of East Azerbaijan Province. (in Persian).

BabaeiZarch, M.J., Fotokian, M.H. & Mahmoodi, S. (2014). Evaluation of genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes traits using multivariate analysis methods for morphological. *Journal of Crop Breeding*, 6(14), 1–14. (in Persian with English abstract)

Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 15–32. https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286

De Santis, M.A., Giuliani, M.M., Flagella, Z., Reyneri, A., & Blandino, M. (2020). Impact of nitrogen fertilization strategies on the protein content, gluten composition and rheological properties of wheat for biscuit production. *Field Crops Research*, *254*, 107829. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107829

Delfin, S., Tognetti, R., Dsiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy of Sustainable Development*, 25, 183–191. https://doi.org/10.1051/agro:2005017

Dobre, S.P., Lazăr, C. (2014). Surface determinations of flag leaf for a set of mutant Dh wheat lines. pp. 7–16. In: *Genetics and plant breeding*. INCDA, Fundulea, Romania, Volume LXXXII.

Guarda, G., Padovan, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21: 181–192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001

Hamza S., Hamida W.B., Rebai A., & Harrab M. (2004). SSR-based genetic assessment among Tunisian winter barley and relationship with morphological traits. *Euphytica*, 135, 107–118. https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000009547.65808.bf

Hassegawa, R.H., Fonseca, H., Fancelli, A.L., da Silva, V.N., Schammass, E.A., Reis, T.A., & Correa, B. (2008). Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*, 19, 36–43. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.01.006

Hatfield, J.L., & Prueger, J.H. (2004). Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. *Crop Science*, 26, 156–168.

Horvat, D., Šimić, G., Dvojković, K., Ivić, M., Plavšin, I., & Novoselović, D. (2021). Gluten protein compositional changes in response to nitrogen application rate. *Agronomy*, *11* (2), 325. https://doi.org/10.3390/agronomy11020325

Hussain, M. A., Omer, O. A., & Mohammed, H.S. (2021). Response yield and some growth parameters of bread wheat to nano and nitrogen fertilizers. *Journal of Duhok University*, *24*(1), 73–81. https://doi.org/10.26682/ajuod.2021.24.1.7

Jones, B.J. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press, Boca Raton, Fl. USA.

Kalantari, A., Aliasgharzad, N., & Najafi, N. (2018). Effects of two species of Pseudomonas and nitrogen levels on dry Matter, chlorophyll index and N and Zn uptake by spinach plant. *Applied Soil Research*, 6(1), 62–72. (in Persian with English abstract)

Kazemalilou, S., Najafi, N., & Reyhanitabar, A. (2018). Effects of integrated application of phosphorus fertilizer and sewage sludge on leaf chlorophyll index and some growth characteristics of sunflower under water deficit conditions. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(4), 1–18. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22069/ejsms.2018.12197.1693

Kazemalilou, S., Najafi, N., Reyhanitabar, A., Ghaffari, M., & Azadmard-Damirchi, S. (2023). Sewage sludge and phosphorus increase seed yield, oil and protein concentrations and water use efficiency of sunflower under different levels of water supply. *Gesunde Pflanzen*, 75, 2865–2877. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00864-x

Khademi, A., Golchin, A., Shafiei, S. & Zaree, E. (2012). Effects of manure and sulfur on nutrients uptake by corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103, 2–11. (in Persian with English abstract)

Khan, A.S., Ul-Allah, S., & Sadique, S. (2010). Genetic variability and correlation among seedling traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2, 247–250.

Khodadadi, M. Fotokian, M.H., & Miransari, M. (2011). Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. *Australian Journal of Crop Science*, 5(1), 17–24.

Khursheed, M. Q., & Mahammad, M.Q. (2015). Effect of different nitrogen fertilizers on growth and yield of wheat. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 27(5), 19–28.

Litke, L., Gaile, Z., & Ruža, A. (2018). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. *Agronomy Research*, 16, 500–509. https://doi.org/10.15159/AR.18.064

Maghsoodi M.R., Najafi N., Reyhanitabar A., & Oustan S. (2025). Effects of biochar, hydrochar, zeolite, and hydroxyapatite nanorods as urea carriers on some agronomical traits and water use efficiency of rice plant. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 450–464.

https://doi.org/10.1007/s42729-024-02143-8

Majidi, A. (2014). Use of Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for estimating leaf N concentration and grain protein content in three varieties of wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, 28, 2, 245–254. (in Persian with English abstract).

https://doi.org/10.22092/ijsr.2014.120333

Markarian, Sh., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2016). Effects of *Sinorhizobium meliloti* bacterium and phosphorus on leaf chlorophyll index, nitrogen and phosphorus concentrations in alfalfa shoot and root under drought stress conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 24(4/1), 27–45. (in Persian with English abstract)

Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Third edition, Elsevier, Academic Press.

Meier, S., Campos, P., Morales, A., Jobet, C., López-Olivari, R., Palma-Millanao, R., & Seguel, A. (2024). Genotypic responses to phosphorus and water management in winter wheat: Strategies to increase resource use efficiency and productivity. *Agricultural Water Management*, 295, 108762.

https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108762

Millard, P., Grelet, G.A. (2010). Nitrogen storage and remobilization by trees: eco-physiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 30(9), 1083–1095.

https://doi.org/10.1093/treephys/tpq042

Muurinen, S., Kleemola, J., Peltonen-Sainio, P. (2007). Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 99, 441–447.

https://doi.org/10.2134/agronj2006.0107

Najafi, N., Ahmadinezhad, R., Oustan, S., & Aliasgharzad, N. (2019). Effects of urea integration with manure and two types of compost (municipal solid waste and sewage sludge) on leaf, stem and seed yield of wheat and their nitrogen, phosphorus and potassium concentration. *Journal of Water and Soil*, 33(1), 63–81. (in Persian with English abstract)

https://doi.org/10.22067/jsw.v33i1.73420

Ortiz, R., Nurminen, M., Madsen, S., Rognil, O.A., & Bjornstad, A. (2002). Genetic gains in Nordic spring barley breeding over sixty years. *Euphytica*, 126: 283-289

Roostaei, M., Jafarzadeh, J., Eskandari, I., Ghahramanian, G., & Javidan, A. (2022). Study on agronomic characteristics and grain yield of wheat genotypes under different tillage methods in Hashtrood region. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(2), 245–259. (in Persian with English abstract).

https://doi.org/10.22092/idaj.2022.357908.372

Sadeghi Saadatlou, F., Reyhanitabar, A., Najafi, N., & Bybordi, A. (2019). Effects of combined application of nitrogen (N) and iron (Fe) on chlorophyll index and some growth characteristic of corn plant under greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 29(3), 135–146. (in Persian with English abstract)

Sadegh Qol Moghadam, R., Khoda Rahmi, M., & Ahmadi G. (2011). Investigation of genetic diversity and factor analysis for grain yield and other morphological traits of bread wheat under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7(1), 133–147. (in Persian with English abstract).

Salimi Tarazoj, S., Reyhanitabar A., & Najafi N. (2024) Effects of biochar and phosphorus on dry matter and uptake of calcium, magnesium, iron, zinc, copper, and manganese by rapeseed in a calcareous soil. *Journal of Soil and Plant Science*, 34(4), 91–113. (in Persian with English abstract)

https://doi.org/10.22034/sps.2024.19185

Sanchez-Bragado, R., Molero, G., Reynolds, M.P., & Araus, J.L. (2014). Relative contribution of shoot and ear photosynthesis to grain filling in wheat under good agronomical conditions assessed by differential organ δ13C. *Journal of Experimental Botany*, 65(18), 5401–5413.

https://doi.org/10.1093/jxb/eru298

Semenov, M.A., Jamieson, P.D., & Martre, P. (2007). Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. *European Journal of Agronomy*, 26: 283-294.

https://doi:10.1016/j.eja.2006.10.009

Swailam, M.A., Mowafy, S.A.E., El-Naggar, N.Z.A., & Mansour, E. (2021). Agronomic responses of diverse bread wheat genotypes to phosphorus levels and nitrogen forms in a semiarid environment. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, *53*(4). https://doi.org/10.54910/sabrao2021.53.4.4

Tian, Y., Zhang, H., Xu, P., Chen, X., Liao, Y., Han, B., Chen, X., Fu, X., & Wu, X. (2015). Genetic mapping of a QTL controlling leaf width and grain number in rice. *Euphytica*, 202, 1-11. https://doi.org/10.1007/s10681-014-1263-5

Vaziri, H., Dadashi, M.R., AjamNorozi, H., Soltani, A., & Yarahmadi, S., (2022). Effects of nitrogen rate and supplemental irrigation time on yield and agro-morphological traits of spring wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53 (1), 175-188. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.318392.654800