

Evaluation of some agronomic characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Pishgam) under application of nitrogen fertilizer and plant-derived smoke**Zhila Moradi¹, Saeid Jalali Honarmand^{*1}, Farzad Mondani¹, Faride Noroozi Shahri¹**

1. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author Email: sjhonarmand@razi.ac.ir**Abstract**

Introduction: Wheat, as the most important strategic crop worldwide, plays a key role in ensuring food security. The increasing global demand for this crop, coupled with water scarcity, soil degradation, and the impacts of climate change, has highlighted the urgent need for innovative and sustainable strategies to enhance yield and improve input use efficiency. Nitrogen fertilizer is one of the most effective management tools for increasing wheat productivity; however, its excessive application not only reduces economic efficiency but also imposes adverse environmental effects. Smoke water, derived from the combustion of plant residues, and its butenolide compounds have significant effects on different aspects of plant growth and crop performance. Previous studies have indicated that these compounds, as a novel class of plant growth regulators, can be used as a supplement or alternative to excessive chemical fertilizer application. In this study, with an emphasis on maintaining food security and improving the quality of wheat crops, the effects of nitrogen fertilizer and smoke water on some agronomic characteristics and grain yield were evaluated under field conditions.

Materials and methods: In order to investigate the effect of nitrogen fertilizer and SW on the agrophysiological characteristics of wheat cv. Pishgam, a field experiment, was conducted as a split plot based on a complete randomized block design with three replications in an irrigated wheat field located in the Sarab-e-Niloufar rural district, a subdivision of Kermanshah County. In this study application of nitrogen fertilizer in four levels (including 60, 80, 100, and 120 kg ha⁻¹) was assigned to the main factor, and five SW concentrations (including Control, 1:1500, 1:1000, 1:500 and 1:100 (v/v)) were assigned to the subfactor. Initially, 60 kg.ha⁻¹ of nitrogen was uniformly applied to all plots. The remaining amounts (0, 20, 40, and 60 kg.ha⁻¹) were top-dressed at Zadoks growth stage 25. The required SW was prepared using a mixture of alfalfa forage and wheat straw. Foliar applications were carried out at three growth stages: Zadoks 25, 35, and 45. The evaluated traits included plant height, spike length, number of spikes per square meter, number of grains per spike, 1000-grain weight, biological yield, grain yield, and harvest index. Data analysis was conducted using SAS software, and mean comparisons were performed using the LSD method.

Results: The results indicated that increasing nitrogen levels significantly enhanced plant height, number of spikes per square meter, biological yield, and grain yield. Smoke-water application significantly increased all measured traits except 1000-grain weight. Significant interaction effects between nitrogen fertilizer and smoke-water were observed for plant height, spike length, number of spikes per square meter, 1000-grain weight, and biological yield. The highest biological yield was obtained from the treatment combination of 120 kg.ha⁻¹ nitrogen and foliar application of smoke-water at a concentration of 1:1000 (v/v). Grain yield increased by 32.88% and 50.96% at the nitrogen rate of 120 kg.ha⁻¹ and smoke-water concentrations of 1:500 (v/v), respectively. Foliar application of smoke-water at a concentration of 1:100 (v/v) resulted in an 8.16% increase in harvest index.

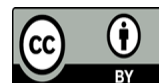
Conclusion: In conclusion, the combined application of smoke-water and nitrogen fertilizer, through physiological synergistic effects, improved vegetative growth, enhanced yield components, increased harvest index, and ultimately promoted grain yield. The use of smoke-water as a biostimulant can reduce dependence on chemical inputs and represent an effective strategy toward sustainable nutrient management and increased wheat cv. Pishgam production under field conditions.

Keywords: Foliar application, Plant growth regulators, Spike, Urea, Yield**Received:** 03-03-2025**Accepted:** 27-08-2025

Citation: Moradi, Zh., Jalali Honarmand, S., Mondani, F., & Noroozi Shahri, F. (2025). Evaluation of some agronomic characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Pishgam) under application of nitrogen fertilizer and plant-derived smoke. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 301-312. <https://doi.org/>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/plant.2025.143174.1149>ارزیابی برخی از ویژگی‌های آگرونومیک گندم (*Triticum aestivum* L. cv. Pishgam) تحت کاربرد کود نیتروژن و محلول دود حاصل از گیاهانژیلای مرادی^۱، سعید جلالی هنرمند^{۱*}، فرزاد مندنی^۱، فریده نوروزی شهری^۱

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: sjhonarmand@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه: گندم به عنوان مهم‌ترین محصول زراعی استراتژیک جهان، نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی ایفا می‌کند. افزایش تقاضای جهانی برای این محصول در کنار محدودیت منابع آب، تخریب خاک و پیامدهای تغییر اقلیم، لزوم به کارگیری راهکارهای نوین و پایدار برای افزایش عملکرد و بهبود کارایی نهاده‌ها را بیش از پیش آشکار ساخته است. کود نیتروژن یکی از مؤثرترین عوامل مدیریتی در افزایش عملکرد گندم محسوب می‌شود، با این حال مصرف بی‌رویه آن علاوه بر کاهش بهره‌وری اقتصادی، اثرات نامطلوب زیست‌محیطی به همراه دارد. محلول دود حاصل از سوختن گیاهان (دودآب) و ترکیبات بوتنولیدی موجود در آن تأثیر قابل توجهی بر جنبه‌های مختلف رشد و عملکرد محصولات دارند. این ترکیبات به عنوان خانواده جدیدی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند به عنوان مکمل یا جایگزین مصرف بیش از حد کود شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، با تأکید بر ضرورت حفظ امنیت غذایی و بهبود سطح سلامت محصولات گندم، اثرات کود نیتروژن و دودآب بر برخی از صفات آگرونومیک و عملکرد دانه گیاه در شرایط واقعی مزرعه بررسی شد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر کود نیتروژن و دودآب بر ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک گندم رقم پیشگام، یک آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک مزرعه گندم آبی واقع در دهستان سراب نیلوفر از توابع شهرستان کرمانشاه انجام شد. در این مطالعه، کاربرد کود نیتروژن در چهار سطح (شامل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی با پنج غلظت دودآب (شامل شاهد، ۱:۱۵۰۰، ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v)) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. جهت اعمال تیمار کود نیتروژن ابتدا از هر سطح کود مقدار ۶۰ کیلوگرم به عنوان پایه به واحدهای آزمایشی اضافه شد. سپس مابقی هر سطح (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم) به صورت سرک در مرحله ۲۵ زادوکس به هر واحد آزمایشی اضافه شد. برای اعمال سطوح مختلف کود محلول پاشی، دودآب مورد نیاز با استفاده از مخلوطی از علوفه یونجه و کاه گندم تهیه شد. محلول پاشی در تمام واحدهای آزمایشی در سه مرحله ۲۵، ۳۵ و ۴۵ زادوکس انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت بودند. تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با روش LSD انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که سطوح مختلف نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه و غلظت‌های مختلف دودآب موجب افزایش معنی‌دار مقادیر تمامی صفات به جز وزن هزار دانه شد. ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه قرار گرفتند. بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول پاشی با غلظت ۱:۱۰۰۰ (v/v) دودآب بود. مقدار عملکرد دانه در سطح ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول پاشی با غلظت ۱:۵۰۰ (v/v) دودآب به ترتیب ۳۲/۸۸ و ۵۰/۹۶ درصد افزایش یافت. محلول پاشی با غلظت ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب موجب افزایش ۸/۱۶ درصدی شاخص برداشت شد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، استفاده هم‌زمان از دودآب و کود نیتروژن با ایجاد هم‌افزایی فیزیولوژیک، موجب بهبود رشد رویشی، افزایش اجزای عملکرد، ارتقای شاخص برداشت و افزایش عملکرد دانه می‌شود. کاربرد دودآب به عنوان یک محرک زیستی می‌تواند بخشی از وابستگی به نهاده‌های شیمیایی را کم کرده و گامی مؤثر در جهت مدیریت پایدار تغذیه گیاه و افزایش تولید گندم رقم پیشگام در شرایط مزرعه‌ای باشد.

کلید واژگان: اوره، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، سنبله، عملکرد، محلول پاشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

منبع: مرادی، ژ، جلالی هنرمند، س، مندنی، ف، و نوروزی شهری، ف. (۱۴۰۴). ارزیابی برخی از ویژگی‌های آگرونومیک گندم (*Triticum aestivum* L. cv. Pishgam) تحت کاربرد کود نیتروژن و محلول دود حاصل از گیاهان. *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۶ (۲)، ۳۰۱-۳۱۲. <https://doi.org/10.22034/plant.2025.143174.1149>



مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) پرمصرف‌ترین گیاه از تیره غلات در سطح جهان است. این محصول استراتژیک به دلیل محتوای بالای پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و ویتامین‌ها و سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف، نقش مهمی در امنیت غذایی ایفا می‌کند و منبع اصلی تغذیه برای جمعیت‌های انسانی محسوب می‌شود (Gasparyan et al., 2025). افزایش تقاضای جهانی برای گندم به واسطه افزایش رشد جمعیت و تغییر الگوهای مصرف مواد غذایی، نیاز به بهبود عملکرد این محصول را بیش از پیش آشکار می‌کند. با این وجود، محدودیت منابع آبی، تخریب خاک و تغییرات اقلیمی به عنوان چالش‌های اساسی در افزایش تولید گندم مطرح هستند (FAO, 2017). بنابراین، ارتقای عملکرد گندم از طریق توسعه روش‌های نوین کشاورزی و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید می‌تواند راهکاری مؤثر برای تأمین امنیت غذایی پایدار باشد.

در زراعت گندم، کوددهی بهینه نیتروژن یکی از اقدامات بسیار مهم است، زیرا به‌طور قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت دانه تأثیر می‌گذارد (Jarecki et al., 2024). افزایش سطح نیتروژن اغلب یکی از سریع‌ترین و کارآمدترین راهکارها برای افزایش تولید در نظر گرفته می‌شود و به‌طور عمده نقش کمبود نیتروژن در رشد کندتر گیاه، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد بیش از سایر کودها می‌باشد. ارتباط مثبت بین کوددهی بهینه نیتروژن و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم در مطالعات مختلفی گزارش شده است (Jarecki et al., 2024). در برخی از این مطالعات کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن موجب دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و پروتئین در گندم شده است، در حالیکه مصرف بیش از این مقدار نیتروژن را از نظر اقتصادی غیر قابل توجیه و برای محیط زیست مضر گزارش نموده‌اند، به‌طوری که افزایش مقدار مصرف نیتروژن تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد نسبت به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نشده است (Abedi et al., 2011; Zheng et al., 2021). برخی دیگر از مطالعات، کاربرد ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به نسبت‌های ۱:۲:۱ در مراحل کاشت، پنجه‌دهی و ظهور سنبله را مقدار بهینه کود برای مزرعه گندم پیشنهاد نموده‌اند (Khan et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار

موجب افزایش قابل توجهی در عملکرد گندم شد (Salim & Raza, 2020).

در طی دو دهه اخیر، استفاده از ترکیبات موجود در دود حاصل از گیاهان جهت تحریک جوانه‌زنی گیاهان مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Van staden et al., 2004). اصلی‌ترین گروه این ترکیبات گروهی از بوتنولیدهای حلقوی به نام کاریکین‌ها می‌باشند که به واسطه فعالیت شبه‌فیتوهورمونی خود در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مختلف گیاهان به‌عنوان خانواده جدید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند. علاوه بر این اثرات ضد میکروبی و همچنین تأثیر مثبت آن‌ها در کنترل آفات و بیماری‌ها در مطالعات متعددی گزارش شده است (Kulkarni et al., 2007). این ترکیبات از گستره متنوعی از مواد گیاهی شامل چوب، برگ، کلش و... حاصل شده و عصاره آبی آن‌ها به نام دودآب به‌عنوان یک نهاده ارگانیک جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lloyd et al., 2000). مطالعات مختلفی نشان داده است که دودآب پتانسیل افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی را دارد و تا حدودی می‌تواند جایگزین نهاده‌های شیمیایی شود، به‌طوری که مشاهده شد دودآب با غلظت یک درصد در سطوح ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش عملکرد دانه گندم به‌میزان ۱۵/۲۲، ۱۱/۳۴، ۷/۱۸ و ۷/۶۷ درصد نسبت به شاهد شد. به عبارت دیگر کاربرد دودآب می‌تواند از طریق بهبود کارایی نیتروژن و جبران عملکرد ناشی از کاهش مصرف آن، شاخص‌های رشد و عملکرد دانه گندم را افزایش دهد (Gholami et al., 2018). در یک آزمایش بیشترین عملکرد دانه گندم با کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و غلظت یک درصد دودآب و کمترین مقدار عملکرد با کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و محلول‌پاشی با آب (به‌عنوان شاهد) گزارش شده است (Noroozi Shahri et al., 2018). این مطالعه جهت دستیابی به یک توصیه کودی مطمئن جهت مصرف بهینه نیتروژن و استفاده حداکثری از پتانسیل ترکیبات مؤثر دودآب در تنظیم و تحریک رشد و تمایز گندم در شرایط واقعی مزرعه گندم آبی رقم پیشگام اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه ۸ هکتاری گندم آبی متعلق به یکی از کشاورزان دهستان سراب نیلوفر از توابع شهرستان کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام شد. جهت اجرای این طرح مجموعاً ۲۰۰۰ مترمربع از مزرعه با رعایت

حاشیه، جداسازی و علامت‌گذاری شد. خصوصیات هواشناسی منطقه در طول دوره رشد و پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات هواشناسی منطقه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

خصوصیات هواشناسی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۸
میانگین دمای بیشینه (°C)	۲۹/۰۸	۱۷/۶۱	۱۲/۳۴	۱۰/۲۲	۱۰/۹۹	۱۱/۸۴	۱۶/۰۸	۲۴/۳۶	۳۴/۰۵	۳۸/۸۷	۳۹/۴۳	۳۵/۸۸
میانگین دمای کمینه (°C)	۱۱/۴۳	۷/۰۵	۲/۷۰	-۰/۷۵	-۰/۲۵	۰/۸۸	۴/۷۹	۶/۶۳	۱۳/۱۰	۱۶/۷۰	۱۸/۶۲	۱۴/۴۰
بارش (mm)	۳۰/۱	۱۱۸/۸	۹۷/۸	۳۲/۶	۹۵/۱	۷۲/۸	۱۷۸/۵	۱۲/۹	.	.	.	.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

بافت خاک	ماده آلی	سیلت	شن	رس	روی	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	pH
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
رسی سیلty	۲/۲۷	۲۱	۴۰	۴۲	۰/۶۵۸	۱۲/۲۵	۱۲/۸۷	۶۳۶/۲۶	۱۱/۷۶	۲۱۰۰	۷/۵۵

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، دیسک‌زنی و تسطیح در مهرماه و پس از برداشت محصول سیب‌زمینی صورت گرفت. بذر مورد استفاده گندم رقم پیشگام بود که با ردیف‌کار گندم در تاریخ ۱۵ آذر کشت شد. عمق کاشت ۳ تا ۵ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود و در هر مترمربع ۵۰۰ بذر کشت شد. آبیاری نیز بلافاصله پس از کشت و به روش بارانی صورت گرفت. در این آزمایش تیمار کودی در چهار سطح شامل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب) و غلظت‌های ۱:۱۵۰۰، ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. جهت اعمال تیمار کود نیتروژن ابتدا از هر سطح کود مقدار ۶۰ کیلوگرم به‌عنوان پایه به واحدهای آزمایشی اضافه شد. سپس مابقی هر سطح (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم) به‌صورت سرک طی یک مرحله در تاریخ ۲۰ اسفند در مرحله پنجه‌دهی (مرحله ۲۵ زادوکس) به هر واحد آزمایشی اضافه شد. جهت اعمال سطوح مختلف تیمار محلول‌پاشی، ابتدا دودآب مورد نیاز با استفاده از دستگاه ابداعی براساس روش Noroozi Shahri

و همکاران (۲۰۱۸) و با استفاده از ترکیب علوفه یونجه و کاه گندم تهیه شد. در این روش دود ناشی از سوختن بقایای گیاهان با کمک یک ژنراتور، مبرد و پمپ کننده از یک مخزن حاوی آب مقطر تا زمان سوختن کامل و اشباع آب مقطر عبور داده شد. محلول حاصل پس از عبور از کاغذ صافی نمره یک واتمن به‌عنوان محلول پایه در نظر گرفته شد و سپس در غلظت‌های ۱:۱۵۰۰، ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v) با آب مقطر رقیق و جهت اعمال تیمارها به کار برده شد. محلول‌پاشی در کل واحدهای آزمایشی در سه مرحله فنولوژیک پنجه‌دهی (مرحله ۲۵ زادوکس)، رویت گره پنجم ساقه (مرحله ۳۵ زادوکس) و مرحله بوتینگ (مرحله ۴۵ زادوکس) انجام شد.

صفات مورد بررسی عبارت از ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت بود. جهت اندازه‌گیری فاکتورهای مورد بررسی، پس از رسیدگی فیزیولوژیک محصول، ابتدا با استفاده از یک کودرات یک مترمربعی با حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌ها از سطح خاک به‌طور کامل برداشت شده و پس از خشک شدن، صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.01$) سطوح نیتروژن، غلظت‌های دودآب و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته ($62/5$ سانتی‌متر) مربوط سطح کودی 120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و غلظت $1:1000$ (v/v) دودآب و کمترین ارتفاع بوته ($50/1$ سانتی‌متر) مربوط به سطح کودی 60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۱). افزایش ارتفاع گندم تحت تأثیر مصرف کود نیتروژن، با نتایج مطالعات پیشین هم‌راستا است (Zhang et al., 2017). نیتروژن با افزایش میزان پروتوپلاسم، تشکیل پروتئین‌ها، تحریک تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها، موجب رشد بیشتر و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Alim et al., 2023). همچنین تأمین نیتروژن - به‌ویژه از طریق تقسیط و کاربرد سرک آن - باعث افزایش سرعت فتوسنتز، تسریع تقسیم سلولی و در نهایت افزایش تولید آسیمیلات‌ها و ماده خشک

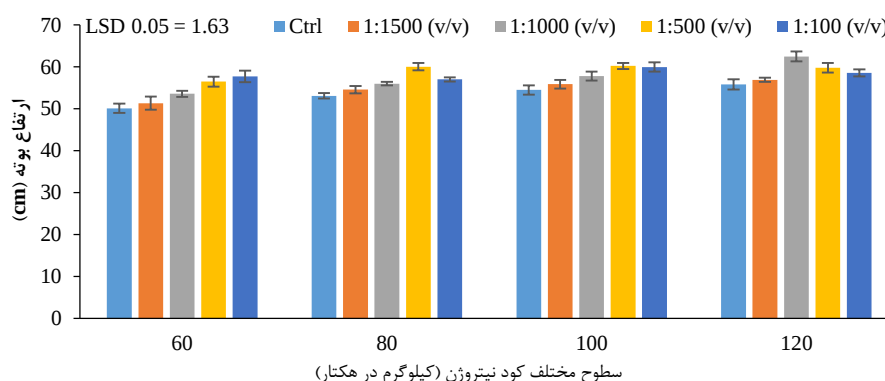
می‌گردد (Ullah et al., 2018). مطالعات نشان داده است که ترکیبات کاریکینی موجود در دود حاصل از سوختن گیاهان مانند کاریکینولید موجب افزایش بیان ژن‌های کلیدی در سنتز اسید جیبرلیک، افزایش حساسیت گیرنده‌های اسید جیبرلیک و افزایش سطح این فیتوهورمون در گیاه می‌شوند (Nelson et al., 2009). افزایش سطح اسید جیبرلیک موجب افزایش ارتفاع گندم می‌شوند (Hamoda et al., 2025).

اثر متقابل معنی‌دار بین سطوح کود نیتروژن و محلول‌پاشی با دود حاصل از گیاهان احتمالاً ناشی از هم‌افزایی فیزیولوژیک این دو عامل است. کود نیتروژن با افزایش ظرفیت متابولیک گیاه از طریق سنتز پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و کلروفیل‌ها، موجب رشد فعال سلولی و افزایش سرعت فتوسنتز شده است. کاریکین‌های موجود در دودآب نیز با تحریک مسیرهای جیبرلینی، باعث فعال‌سازی رشد طولی سلول‌ها می‌شوند. بنابراین فراهمی نیتروژن همزمان با تحریک مسیرهای فیتوهورمونی توسط دودآب موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه در مقایسه با شاهد شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم پیشگام تحت کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	میانگین مربعات	
							عملکرد بیولوژیک	عملکرد شاخص برداشت
بلوک	۲	۴۱/۵۵**	۴/۸۸**	۱۸۳۰۵**	۹/۹۴ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۱۰۹۶۷۵**	۴۳۵۹۴**
نیتروژن	۳	۶۷/۶۷**	۱/۱۸ ^{ns}	۱۸۸۹۳**	۴/۱۲ ^{ns}	۱۶/۷۶ ^{ns}	۴۰۴۰۳۸**	۷۳۹۲۰**
خطای a	۶	۲/۱۲	۰/۳۲	۱۸۱۴	۳/۳۴	۷/۶۹	۳۳۶/۹۶	۲۳۵۱
دودآب	۴	۷۲/۴۲**	۳/۰۶**	۱۶۹۸۸**	۶۹/۹۹**	۱/۶۹ ^{ns}	۵۲۰۴۳۷**	۱۰۶۵۷۹**
نیتروژن × دودآب	۱۲	۶/۳۵**	۰/۳۱**	۱۸۲۰*	۱۱/۳۹ ^{ns}	۳/۴۵*	۲۱۷۵۱**	۱۴۲۶ ^{ns}
خطای آزمایش	۳۲	۰/۷۶	۰/۰۵	۶۷۸/۹۶	۶/۹۰	۱/۵۰	۱۲۱/۹۸	۱۱۵۶
ضریب تغییرات %		۱/۵۴	۲/۲۴	۶/۹۵	۷/۴۵	۲/۷۸	۰/۷۴	۵/۷۴

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار



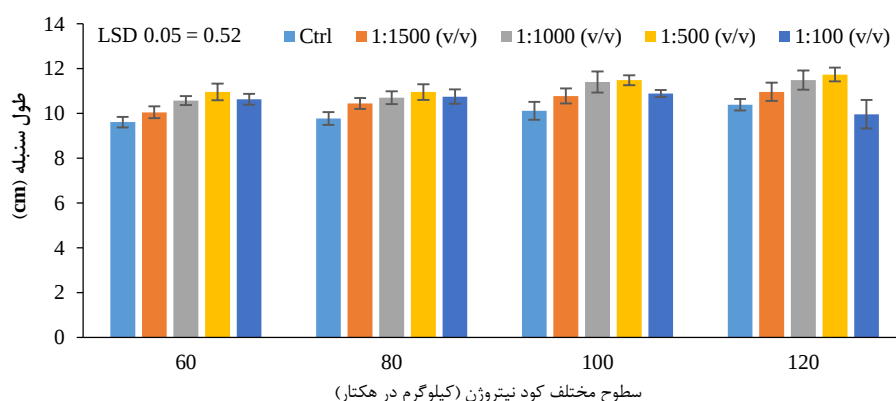
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر ارتفاع بوته گندم رقم پیشگام

بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول سنبله تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.01$) غلظت‌های دودآب و اثر متقابل سطوح نیتروژن و دودآب قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل نشان داد که بیشترین طول سنبله (۱۱/۷ سانتی‌متر) مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با غلظت ۱:۵۰۰ (v/v) دودآب و کمترین مقدار این صفت (۹/۶ سانتی‌متر) مربوط به کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۲).

طول محور سنبله یکی از فاکتورهای مهم در عملکرد گندم است. سنبله‌های بلند معمولاً دارای تعداد سنبله‌چه و دانه بیشتر می‌باشند و همبستگی مثبت آن‌ها با وزن هزار دانه و عملکرد دانه نیز در برخی از مطالعات گزارش شده است (Genaev et al., 2019; Ullah et al., 2021). اگرچه در این

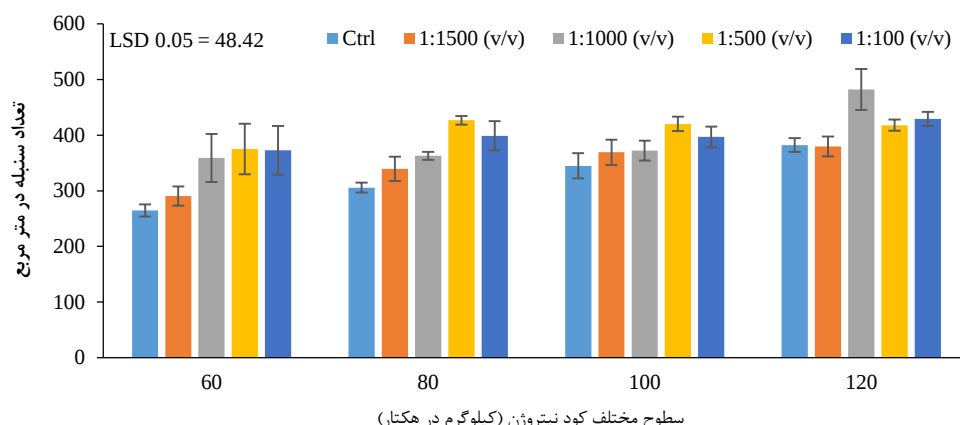


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر طول سنبله گندم رقم پیشگام بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

و همچنین باروری آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Bauer & von Wirén, 2020). فراهمی نیتروژن در مرحله پنجه‌دهی از رشد پنجه‌ها پشتیبانی می‌کند و تعداد پنجه‌های بارور را در مترمربع افزایش می‌دهد. مطالعات مختلف نشان داده است که کاریکین‌ها علاوه بر اینکه موجب افزایش پروفیل سایتوکینین در گیاهان می‌شوند، دارای اثرات شبه سایتوکینینی نیز می‌باشند (Aremu et al., 2016; Noroozi Shahri et al., 2021, 2022). سایتوکینین نقش مهمی در افزایش پنجه‌های بارور دارد (Koprna et al., 2020). بنابراین هم‌افزایی دو فاکتور مورد مطالعه موجب افزایش تعداد سنبله در مترمربع شد.

تعداد سنبله در مترمربع

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح نیتروژن، غلظت‌های دودآب و اثر متقابل این دو عامل بر تعداد سنبله در مترمربع ($p < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (۴۸۲) مربوط به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با غلظت ۱:۱۰۰۰ (v/v) دودآب و کمترین تعداد این صفت (۲۶۵) مربوط به تیمار ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۳). نوع رقم، مدیریت کاشت و شرایط آب و هوایی عواملی هستند که درصد سقط پنجه‌ها

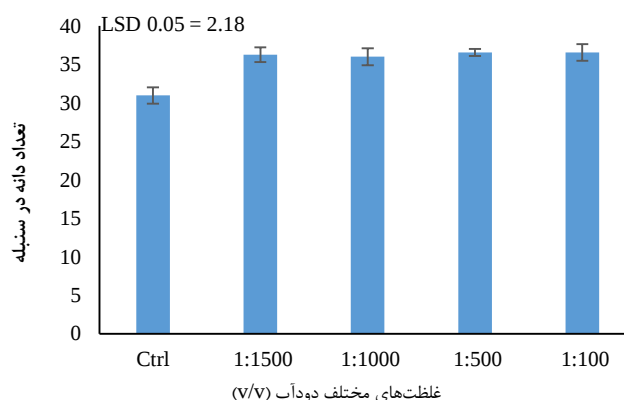


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر تعداد سنبله گندم رقم پیشگام در مترمربع بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

تعداد دانه در سنبله

تعداد کمی از آن‌ها تبدیل به گل می‌شوند (Noroozi, 2018). کاربرد دودآب رقابت برای جذب آسمیلات‌های سنتز شده را کاهش می‌دهد، در نتیجه، در مرحله تورم غلاف تعداد کمتری از آغازه‌های گلچه سقط می‌شوند و درصد گلچه‌های بارور افزایش می‌یابد (Gholami et al., 2018). نقش شبه فیتوهورمونی دودآب موجب افزایش تعداد گلچه‌های بارور، جلوگیری از سقط آن‌ها و درنهایت افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که دلیل افزایش تعداد دانه در سنبله، کاهش درصد مرگ گلچه‌ها در اثر کاربرد دودآب در مرحله گلدهی است.

براساس نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در سنبله تنها تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.01$) غلظت‌های مختلف دودآب قرار گرفت (جدول ۲). تمامی غلظت‌های دودآب بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شدند (شکل ۴). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد باعث کاهش اثرات نامطلوب محیط و افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود (Zhang et al., 2019). تعداد سنبله‌ها در زمان تورم ساقه دچار تغییر نخواهند شد، بلکه مرحله حیاتی جهت تشکیل سنبله‌ها در ابتدای رشد فعال ساقه است و در مرحله ساقه‌روی تا ابتدای ظهور سنبله تعداد زیادی از سنبله‌های آغازش شده به دلیل رقابت برای آسمیلات‌ها از بین رفته و



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر کاربرد غلظت‌های مختلف دودآب بر تعداد دانه در سنبله گندم رقم پیشگام بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

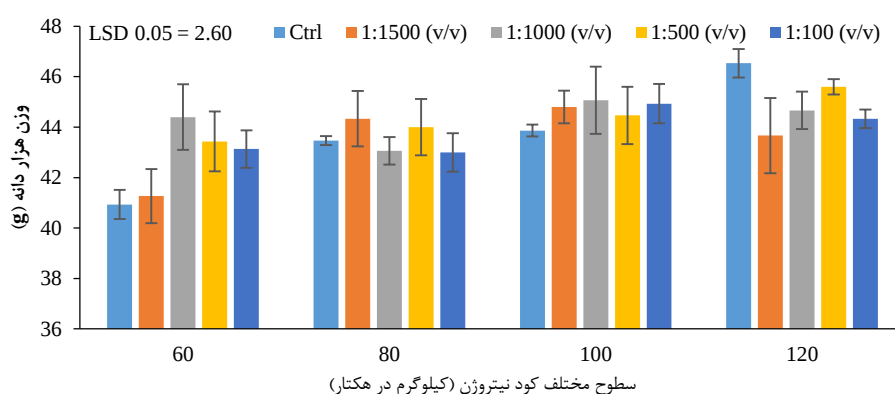
وزن هزار دانه

(۴۶/۵ گرم) مربوط به سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود. با این حال بین وزن هزار دانه در این تیمار با سایر غلظت‌های دودآب در هر دو سطح کودی ۱۲۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین وزن هزار دانه (۴۰/۹)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل دو عامل سطوح نیتروژن و غلظت‌های دودآب ($p < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه

(Aremu et al., 2016) موجب افزایش تقسیمات میتوزی بافت آندوسپرمی دانه در مرحله تورم غلاف و ایجاد یک مخزن قوی تری برای تجمع آسمیلات‌های فتوسنتزی و نهایتاً افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Noroozi Shahri et al., 2018). افزایش وزن هزار دانه با افزایش فراهمی نیتروژن در این مطالعه با نتایج حاصل از سایر مطالعات (Ullah et al., 2018; Klikocka et al., 2016) مطابقت دارد.

گرم) مربوط به سطح کودی ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۵). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دودآب در سطوح کود نیتروژن روی صفت وزن هزار دانه فاقد الگوی مشخص و یکنواخت بود. این نوسانات می‌تواند ناشی از برهم‌کنش‌های پیچیده بین ترکیبات موجود در دودآب و وضعیت تغذیه‌ای گیاه باشد. با این حال مشاهده شد که تمام تیمارها موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به شاهد شدند. فراهمی نیتروژن، کاهش رقابت منفی و وجود دودآب به‌عنوان یک شبه سایتوکینین

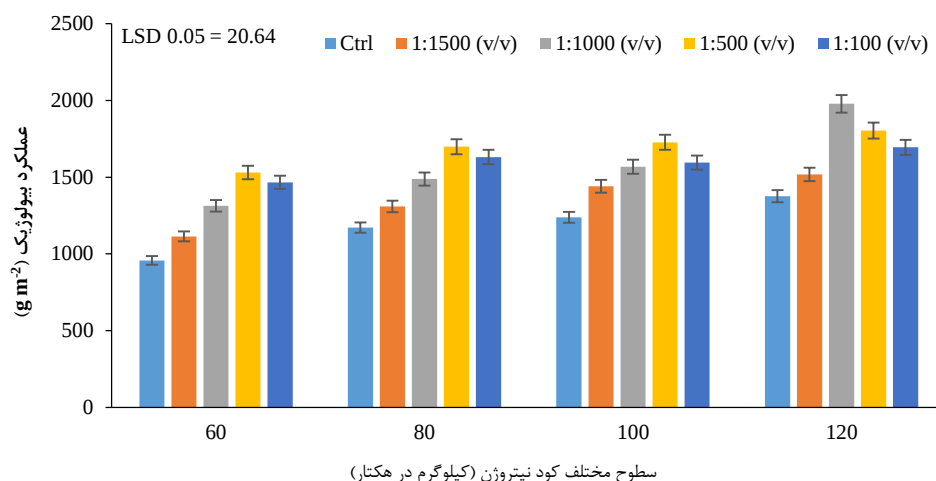


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر وزن هزار دانه گندم رقم پیشگام بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

ترکیبات بیواکتیو قرار گیرد. ترکیبات بیواکتیو موجود در دودآب مانند کاربکین‌ها باعث تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با تقسیم سلولی، بهبود رشد ریشه و توسعه اندام‌های هوایی می‌گردند (Nelson et al., 2011; Waters et al., 2015; Waters et al., 2017). علاوه بر این اثرات شبه سایتوکینینی این ترکیبات (Aremu et al., 2016) موجب افزایش محتوای کلروفیل، بهبود فتوسنتز و درنهایت افزایش سنتر ماده خشک و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Hudeček et al., 2023). تحریک توسعه ریشه و افزایش سطح جذب عناصر غذایی از خاک به خصوص وقتی عناصر غذایی مهم مانند نیتروژن در دسترس باشد، موجب بهبود وضعیت تغذیه گیاه (Luo et al., 2024) و هم‌افزایی اثر سطوح مختلف دو فاکتور کود نیتروژن و دودآب می‌شود.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.01$) سطوح نیتروژن، غلظت‌های دودآب و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۹۷۸ گرم در مترمربع) مربوط سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و غلظت ۱:۱۰۰۰ (v/v) دودآب و کمترین مقدار این صفت (۹۵۷/۳ گرم در مترمربع) مربوط به سطح کودی ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۶). عملکرد بیولوژیک به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی در بهبود عملکرد، می‌تواند تحت تأثیر فاکتورهای متعددی از جمله هورمون‌های گیاهی، تغذیه و



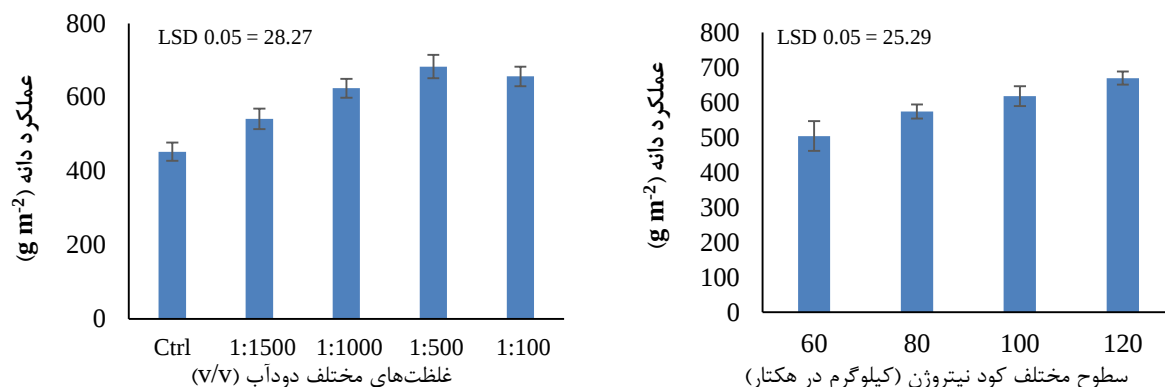
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر عملکرد بیولوژیک گندم رقم پیشگام بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.01$) سطوح نیتروژن و غلظت‌های دودآب گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد دانه ($669/49$ گرم در مترمربع) مربوط به سطح 120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کمترین مقدار این صفت مربوط به سطح 60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار ($503/80$ گرم در مترمربع) بود. بیشترین مقدار عملکرد دانه ($682/97$ گرم در مترمربع) در غلظت $1:500$ (v/v) دودآب و کمترین مقدار این صفت در محلول پاشی با آب ($452/42$ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۷).

کود نیتروژن از طریق نقش چند بعدی خود در رشد و نمو گیاه، تأثیر مهمی بر عملکرد دانه گندم دارد. فراهمی نیتروژن به خصوص تقسیم و مصرف آن به‌صورت کود سرک، موجب توسعه رشد رویشی و افزایش سطح برگ می‌شود و در نتیجه جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد. نیتروژن به‌عنوان یک جزء اساسی کلروفیل و آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز، به‌طور مستقیم از جذب کربن و تجمع زیست‌توده پشتیبانی می‌کند (Hudeček et al., 2023) که برای افزایش تعداد پنجه‌های بارور، رشد سنبله

و تشکیل دانه ضروری هستند. علاوه بر این، در دسترس بودن نیتروژن در طول مرحله زایشی، با افزایش مدت زمان و بهبود راندمان پر شدن دانه، تعداد دانه در هر سنبله و وزن دانه را افزایش می‌دهد. به عبارتی دیگر فراهمی نیتروژن اثر مثبتی بر روابط منبع و مخزن داشته و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد را در پی دارد (Abid et al., 2016). ترکیبات بیواکتیو موجود در دود حاصل از سوختن گیاهان مانند کاربکین‌ها، فنول‌ها و سایر مولکول‌های آلی می‌توانند به‌صورت سینرژیک با فیتوهورمون‌های رشد گیاهی روی نمو گیاه اثر گذاشته و توسعه اندام‌ها و انتقال آسمیلات‌ها را بهبود بخشند (Jain et al., 2008). افزایش تخصیص منابع به اندام‌های زایشی و رویشی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، و بهبود تعادل بین منابع و مخازن فیزیولوژیک از دیگر پیامدهای مثبت کاربرد دودآب در مطالعات اخیر می‌باشد (Noroozi Shahri et al., 2022). علاوه بر این افزایش فراهمی نیتروژن و غلظت‌های بهینه دودآب موجب افزایش شاخص سطح برگ، افزایش کارایی مصرف تشعشع، افزایش سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول و درنهایت افزایش تجمع زیست‌توده و عملکرد گندم می‌شود (Noroozi Shahri et al., 2018; Gholami et al., 2018).



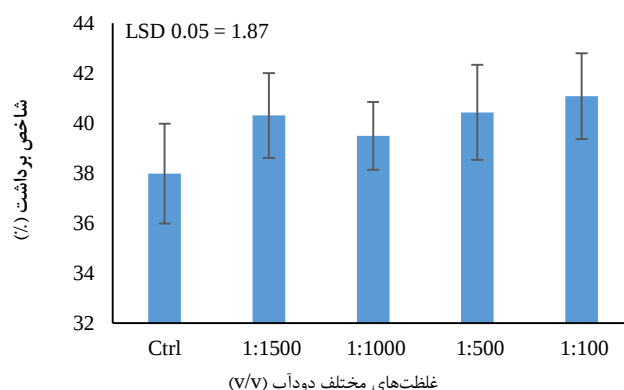
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و دودآب بر عملکرد دانه گندم رقم پیشگام

بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

شاخص برداشت (Baldrianová *et al.*, 2015)، که این تغییرات می‌توانند اثر قابل ملاحظه‌ای بر فتوسنتز و تخصیص کربن داشته باشند. در دهه‌های اخیر پیشرفت کمی در بهبود شاخص برداشت گندم صورت گرفته است و افزایش عملکرد دانه در گندم‌های جدید عمدتاً ناشی از افزایش زیست‌توده بوده است (Rivera-Amado *et al.*, 2019). بنابراین پتانسیل کاربرد دودآب در افزایش شاخص برداشت گندم نسبت به سایر تکنیک‌های موجود بسیار قابل توجه می‌باشد. افزایش شاخص برداشت گندم تحت تیمار دود حاصل از سوختن گیاهان در این مطالعه با نتایج سایر پژوهش‌ها مطابقت داشت (Noroozi Shahri *et al.*, 2018).

شاخص برداشت

براساس نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت تنها تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0.05$) غلظت‌های دودآب قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص برداشت (۴۱/۰۸ درصد) در غلظت ۱:۱۰۰ دودآب و کمترین مقدار این صفت مربوط به محلول‌پاشی با آب (۳۷/۹۸ درصد) بود (شکل ۸). به نظر می‌رسد که کاربرد دودآب موجب بهبود تخصیص جریان آسمیلات‌های فتوسنتزی به سمت واحدهای زایشی شده است. تجزیه پروتئومی روی آراییدوپسیس نشان داد بیش از ۱۱۳ پروتئین در مسیرهایی مانند فتوسنتز و انتقال کربن پس از تیمار با کاریکین تغییر می‌کنند.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر کاربرد غلظت‌های مختلف دودآب بر شاخص برداشت گندم رقم پیشگام

بارهای روی هر ستون، خطای استاندارد میانگین را نشان می‌دهد.

برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی گندم رقم پیشگام را در شرایط مزرعه‌ای بهبود بخشید. افزایش نیتروژن موجب ارتقاء رشد رویشی و عملکرد بیولوژیک شد، در حالی که محلول‌پاشی با دودآب، بسته به غلظت، تأثیر مثبتی بر شاخص برداشت و عملکرد دانه داشت. کاربرد دودآب با غلظت‌های متوسط (۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰۰ (v/v)) همراه با

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک در جهان است و به‌عنوان غذای اصلی بخش بزرگی از جمعیت جهان نقش اساسی در امنیت غذایی دارد. افزایش عملکرد این گیاه برای تأمین نیازهای غذایی ضروری است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده تلفیقی از محلول دود حاصل از سوختن گیاهان و کود نیتروژن می‌تواند به‌طور معنی‌داری عملکرد و

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از مواد و تجهیزات گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی انجام شده است که نویسندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از این گروه اعلام می‌دارند.

سطوح بالای نیتروژن (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده را به همراه داشت، که نشانگر اثر هم‌افزایی بین این دو نهاده است. نتایج این تحقیق بر امکان استفاده از دودآب به‌عنوان یک محرک زیستی مؤثر و مکمل کودهای شیمیایی در مدیریت پایدار تغذیه گیاه تاکید دارد و راهکاری نوین در جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن و ارتقاء عملکرد گندم فراهم می‌سازد.

منابع

- Abedi, T., Alemzadeh, A., & Kazemeini, S. A. (2011). Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3), 330-336.
- Abid, M., Tian, Z., Tahir, S., Cui, Y., Liu, Y., Zahoor, R., Jiang, D., & Dai, T. (2016). Nitrogen nutrition improves the potential of wheat (*Triticum aestivum* L.) to alleviate the effects of drought stress during vegetative growth periods. *Frontiers in Plant Science*, 7, 198979. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00981>
- Alim, M.A., Hossain, S.I., Ditta, A., Hasan, M.K., Islam, M.R., Hafeez, A.G., & Khan, M.A. (2023). Chowdhury MK, Pramanik MH, Al-Ashkar I, El Sabagh A. Comparative efficacy of foliar plus soil application of urea versus conventional application methods for enhanced growth, yield, agronomic efficiency, and economic benefits in rice. *ACS omega*, 8(39), 35845-35855. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03483>
- Aremu, A.O., Plačková, L., Novák, O., Stirk, W.A., Doležal, K., & Van Staden, J. (2016). Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized *Eucomis autumnalis* plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. *Plant Cell Reports*, 35, 227-238. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1881-y>
- Baldrianová, J., Černý, M., Novák, J., Jedelský, P.L., Divišková, E., & Brzobohatý, B. (2015). Arabidopsis proteome responses to the smoke-derived growth regulator karrikin. *Journal of proteomics*, 120, 7-20. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2015.02.011>
- Bauer, B., & von Wirén, N. (2020). Modulating tiller formation in cereal crops by the signalling function of fertilizer nitrogen forms. *Scientific Reports*, 10, 20504. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77467-3>
- Ding, H., Wang, C., Cai, Y., Yu, K., Zhao, H., Wang, F., Shi, X., Cheng, J., Sun, H., Wu, Y., & Qin, R. (2024). Characterization of a wheat stable QTL for spike length and its genetic effects on yield-related traits. *BMC Plant Biology*, 24(1), 292. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04963-3>
- FAO. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations. from <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Gasparyan, G., Eloyan, A., Jhangiryan, T., Markosyan, A., Beglaryan, I., & Barseghyan, M. (2025). Wheat production management in saline soils through the use of vinasse. *Functional Food Science*, 5(1), 20-29. <https://doi.org/10.31989/ffs.v5i1.1539>
- Genaev, M.A., Komyshev, E.G., Smirnov, N.V., Kruchinina, Y.V., Goncharov, N.P., & Afonnikov, D.A. (2019). Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images. *Agronomy*, 9(7), 390. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070390>
- Gholami, B., Noroozi Shahri, F., Mondani, F., Jalali Honarmand, S., & Saeidi, M. (2018). Evaluating some growth indices and grain yield in wheat in response to urea fertilizer and smoke-water. *Journal of Crops Improvement* 20(3), 609-626. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.250390.1929>
- Hamoda, A., Khojah, E.Y., & Radhi, K.S. (2025). Synergistic effects of herbicides and gibberellic acid on wheat yield and quality. *Scientific Reports*, 15(1), 7496. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90217-7>
- Hudeček, M., Nožková, V., Plíhalová, L., & Plíhal, O. (2023). Plant hormone cytokinin at the crossroads of stress priming and control of photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1103088. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1103088>
- Jarecki, W. (2024). Response of winter wheat to delayed sowing and varied nitrogen fertilization. *Agriculture*, 14(1), 121. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010121>
- Khan, G.R., Alkharabsheh, H. M., Akmal, M., Al-Huqail, A. A., Ali, N., Alhammad, B. A., Anjum, M. M., Goher, R., Wahid, F., Seleiman, M. F., & Hoogenboom, G. (2022). Split nitrogen application rates for wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and grain N using the CSM-CERES-wheat model. *Agronomy*, 12(8), 1766. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081766>
- Klikocka, H., Cybulska, M., Barczak, B., Narolski, B., Szostak, B., Kobińska, A., Nowak, A., & Wójcik, E. (2016). The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant, Soil and Environment*, 62(5), 230-236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>

- Koprna, R., Humplik, J.F., Špišek, Z., Bryksová, M., Zatloukal, M., Mik, V., Novák, O., Nisler, J., & Doležal, K. (2020). Improvement of tillering and grain yield by application of cytokinin derivatives in wheat and barley. *Agronomy*, 11(1), 67. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010067>
- Kulkarni, M.G., Ascough, G.D., & Van Staden, J. (2007). Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. *HortScience*, 42(1), 179-182. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.179>
- Lloyd, M. V., Dixon, K. W., & Sivasithamparam, K. (2000). Comparative effects of different smoke treatments on germination of Australian native plants. *Austral Ecology*, 25(6), 610-615. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2000.tb00066.x>
- Luo, Y., Yin, H., Ma, Y., Wang, J., Che, Q., Zhang, M., Chen, B., & Feng, G. (2024). Optimizing nitrogen fertilizer for improved root growth, nitrogen utilization, and yield of cotton under mulched drip irrigation in southern Xinjiang, China. *Scientific Reports*, 14(1), 23223. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73350-7>
- Nelson, D. C., Riseborough, J.A., Flematti, G. R., Stevens, J., Ghisalberti, E.L., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2009). Karrikins discovered in smoke trigger Arabidopsis seed germination by a mechanism requiring gibberellic acid synthesis and light. *Plant physiology*, 149(2), 863-873. <https://doi.org/10.1104/pp.108.131516>
- Nelson, D. C., Scaffidi, A., Dun, E. A., Waters, M.T., Flematti, G. R., Dixon, K.W., & Smith, S.M. (2011). F-box protein MAX2 has dual roles in karrikin and strigolactone signaling in Arabidopsis thaliana. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8897-8902. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100987108>
- Noroozi Shahri, F., Gholami, B., Jalali Honarmand, S., Mondani, F., & Saeedi M. (2018). Evaluating the effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L.) ecophysiological traits. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), 459-475. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.66520>
- Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S., Saeidi, M., & Mondani, F. (2021). Evaluation of some biochemical characteristics of medicinal plant basil (*Ocimum basilicum* L.) under the application of growth phytohormones and phytohormones-like. *Plant Process and Function*, 10(42), 189-210. (In Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.42.19.1>
- Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S., Saeidi, M., & Mondani, F. (2022). Improving some biochemical characteristics of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) with phytohormones-like activity of plant-derived smoke. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(4): 229-244. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.337941.654892>
- Rivera-Amado, C., Trujillo-Negrellos, E., Molero, G., Reynolds, M. P., Sylvester-Bradley, R., & Foulkes, M. J. (2019). Optimizing dry-matter partitioning for increased spike growth, grain number and harvest index in spring wheat. *Field Crops Research*, 240, 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.016>
- Salemi Parizi, S., Ilkaee, M. N., Paknejad, F., AghaYari, F., & Sadeghi Shoa, M. (2025). Efficiency of paclobutrazol and gibberellic acid in wheat (*Triticum aestivum* L.) under different doses of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 48(4), 690-702. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2412724>
- Salim, N., & Raza, A. (2020). Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), 297-315. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>
- Ullah, I., Ali, N., Durrani, S., Shabaz, M. A., Hafeez, A., Ameer, H., Ishfaq, M., Fayyaz, M. R., Rehman, A., & Waheed, A. (2018). Effect of different nitrogen levels on growth, yield and yield contributing attributes of wheat. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(9), 595-602.
- Ullah, M. I., Mahpara, S., Bibi, R., Shah, R. U., Ullah, R., Abbas, S., Ullah, M. I., Hassan, A. M., El-Shehawi, A. M., Brestic, M., & Zivcak M. (2021). Grain yield and correlated traits of bread wheat lines: Implications for yield improvement. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5714-5719. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.006>
- Van Staden, J., Jäger, A. K., Light, M. E., & Burger, B. V. (2004). Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70(4), 654-659. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30206-4](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30206-4)
- Waters, M. T., Nelson, D. C., Scaffidi, A., Flematti, G. R., & Smith, S. M. (2015). Mechanism of karrikin and strigolactone signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 24, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.02.001>
- Waters, M. T., Scaffidi, A., Sun, Y. K., Flematti, G. R., & Smith, S. M. (2014). The karrikin response system of Arabidopsis. *The Plant Journal*, 79(4), 623-631. <https://doi.org/10.1111/tpj.12430>
- Zhang, M., Wang, H., Yi, Y., Ding, J., Zhu, M., Li, C., Guo, W., Feng, C., & Zhu, X. (2017). Effect of nitrogen levels and nitrogen ratios on lodging resistance and yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS One*, 12(11), e0187543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187543>
- Zhang, W., Huang, Z., Xu, K., Liu, L., Zeng, Y., Ma, S., & Fan, Y. (2019). The effect of plant growth regulators on recovery of wheat physiological and yield-related characteristics at booting stage following chilling stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 1-0. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2924-8>
- Zheng, J. C., Hong, Z., Jie, Y., Ting, L., Yang, L. W., Feng, X., Jun, W.G., Wen, Z. Q., & Cai, L. J. (2021). Late sowing and nitrogen application to optimize canopy structure and grain yield of bread wheat in a fluctuating climate. *Turkish Journal of Field Crops*, 26(2), 170-179. <https://doi.org/10.17557/tjfc.1036633>