The Effect of Applying Different Levels of Zeolite and Nitrogen on Yield, Yield Components, and the Harvest Index of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

Hassan Nouriyani[1*]

(Received: October, 2025 Accepted: July, 2025)

Abstract

In crop production systems, increasing the availability of nitrogen in the soil is one of the most important factors affecting growth, development, and yield. Accordingly, a study was conducted to investigate the effect of applying different levels of zeolite and nitrogen on the yield, yield components, and the harvest index of wheat (*Triticum aestivum* L.). The experiment was conducted in a field-based split-plot design arranged in a randomized complete block design with three replications in the 2021–22 cropping season in the Dezful region, located in the north of Khuzestan province. The main plots in this experiment included the application of natural zeolite at four levels (0, 4, 8, and 12 ton.ha^{-1}), and the subplots included the application of four levels of nitrogen (50, 100, 150, and 200 kg.ha^{-1}) from a urea fertilizer source. Comparison of the average experimental data showed that the highest number of spikes per square meter (503.3), number of spikelet per spike (15.44), number of grains per spike (31.20), 1000-grain weight (40.27 g), grain yield (5061 kg.ha^{-1}), and biological yield (14176.8 kg.ha^{-1}) were obtained with the treatment combination of applying 12 tons of zeolite along with 200 kg of nitrogen per hectare. Unlike the other evaluated traits, as nitrogen levels increased from 50 to 200 kg.ha-1, the harvest index decreased, so that the maximum harvest index (44.34%) was obtained in the treatment with 50 kg of nitrogen and 12 tons of zeolite per hectare. Finally, according to the test results, the application of different levels of zeolite (especially the level of 12 ton.ha^{-1}) along with 200 kg of nitrogen per hectare can be recommended as an effective mechanism for increasing nitrogen availability, improving yield components, and enhancing wheat yield.

Key words: Biological yield, Grain number, Grain yield, Spike number

Nouriyani H. 2025. The Effect of Applying Different Levels of Zeolite and Nitrogen on Yield, Yield Components, and the Harvest Index of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Applied Soil Research*. 14 (1): 72-81.

1. Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Payame Noor University, I.R. of IRAN
* Corresponding Author Email: hnouriyani@pnu.ac.ir

اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گندم (*Triticum aestivum* L.)

حسن نوریانی[1*]

(تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳)

چکیده

در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی، افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن موجود در خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و نمو و عملکرد است. بر این اساس، مطالعه‌ای به‌منظور بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گندم (*Triticum aestivum* L.) انجام شد. آزمایش بر اساس طرح کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت مزرعه‌ای در منطقه دزفول، واقع در شمال استان خوزستان اجرا گردید. کرت‌های اصلی در این آزمایش شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع کود شیمیایی اوره بود. مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بیش‌ترین تعداد سنبله در مترمربع (۵۰۳/۳)، تعداد سنبلچه در سنبله (۱۵/۴۴)، تعداد دانه در سنبله (۳۱/۲۰)، وزن هزار دانه (۴۰/۲۷ گرم)، عملکرد دانه (۵۰۶۱/۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیکی (۱۴۱۷۶/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. برخلاف سایر صفات مورد ارزیابی، با افزایش سطح نیتروژن از ۵۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، شاخص برداشت کاهش یافت؛ به‌طوری که حداکثر میزان شاخص برداشت (۴۴/۳۴ درصد) در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲ تن زئولیت در هکتار به دست آمد. درنهایت، بر اساس نتایج آزمایش می‌توان کاربرد سطوح مختلف زئولیت (به‌ویژه سطح ۱۲ تن در هکتار) به همراه ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن را به‌عنوان یک سازوکار مؤثر در فراهمی بیش‌تر نیتروژن جهت بهبود اجزای عملکرد و افزایش عملکرد گندم توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه، تعداد سنبله، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه

نوریانی ح. ۱۴۰۴. اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گندم (*Triticum aestivum* L.). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۴، شماره ۱ صفحه: ۷۲-۸۱.

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه پیام نور، ایران

* پست الکترونیک: hnouriyani@pnu.ac.ir

مقدمه

تحولات اخیر جوامع بشری از نظر رشد جمعیت، فنّاوری و مسائل زیست‌محیطی، اهمیت کشاورزی را بیش از پیش نمایان ساخته است. غلات در سرتاسر جهان تأمین‌کننده بخش عمده نیازهای غذایی بشر هستند که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از گیاهان مهم زراعی است که با توجه به جایگاه آن در تأمین انرژی و پروتئین برای انسان، اهمیت افزایش تولید این محصول در واحد سطح با استفاده از تحقیقات مختلف کاملاً ضروری است (Nour Mohammadi *et al*., 2018). عملکردی که هم‌اکنون از مزارع گندم در واحد سطح برداشت می‌شود، از میزان پتانسیل ژنتیکی آن کمتر بوده و در بسیاری از مناطق به نصف هم نمی‌رسد. بنابراین می‌توان با برطرف کردن موانع تولید، ازجمله انجام عملیات مناسب به‌زراعی و به‌نژادی، زمینه دست‌یابی به پتانسیل تولید را در ارقام کنونی یا ارقامی که در آینده اصلاح خواهند شد، فراهم نمود (Emam & Seghateleslami, 2015).

بیش از ۵۰ درصد افزایش تولیدات غذایی مرهون استفاده از کودهای شیمیایی می‌باشد، در این میان سهم عنصر نیتروژن بالاتر از عناصر دیگر است. به همین دلیل، مصرف کودهای نیتروژن نیز به‌موازات افزایش تولید غذا افزایش‌یافته است، این بدان مفهوم است که تولید ماده خشک در مقیاس جهانی با مصرف نیتروژن همبستگی مثبت دارد (Rabai *et al*., 2013). اگرچه نیتروژن تنها عنصر ضروری گیاه نیست، ولی مهم‌ترین عنصر محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است و نقش مهمی در بسیاری از فرآیندها ازجمله بیوشیمی گیاه، ساختمان آنزیم‌ها، ساختمان کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌های ذخیره‌ای، دیواره سلول و دیگر ترکیبات سلولی دارد. درنتیجه، کمبود این عنصر تأثیر چشمگیری بر بقای گیاه، عملکرد و پروتئین دانه دارد (Fan *et al*., 2019). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد کاهش میزان نیتروژن در گیاه موجب کاهش غلظت نیتروژن برگ، میزان فتوسنتز برگ و شاخص سطح برگ در مرحله گرده‌افشانی و همچنین کاهش تعداد سنبله و تعداد دانه در مترمربع در مرحله رسیدگی می‌شود (Mansour *et al*., 2017). شریفی و امیریوسفی (Sharifi & Amiryusefi, 2017) نیز نشان دادند افزایش مصرف کود نیتروژن اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل برگ پرچم، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و درصد پروتئین دانه گندم داشت.

یکی از مهم‌ترین رهیافت‌های مؤثر در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان زراعی ازجمله گندم، استفاده از ترکیبات طبیعی مانند کانی‌های زئولیت است. زئولیت یک ماده معدنی متشکل از کریستال‌های آلومینوسیلیکات و دارای شبکه سه‌بعدی و ساختار متخلخل و حاوی مولکول‌های آب و کاتیون‌های قلیایی خاکی است (Jalilian & Ranjbar, 2024). زئولیت‌ها به‌عنوان موادی با منشأ طبیعی و با قابلیت تبادل کاتیونی بالا و ساختمان بلوری ویژه چنانچه به کودهای آلی و شیمیایی اضافه شوند؛ علاوه بر اینکه شرایط تهویه برای فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی را فراهم می‌کنند، باعث جذب مواد مغذی کودها خصوصاً نیتروژن شده و از هدررفت آن چه به‌صورت آمونیاک و چه به‌صورت نیترات جلوگیری می‌کنند (Kheir *et al*., 2018). زئولیت‌ها ظرفیت نگهداشت آب بالایی داشته و می‌توانند با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی مؤثر باشند (Roussis *et al*., 2025). افزون بر این به دلیل میل ترکیبی بالا با آمونیوم، قادر به جذب انتخابی آن از کودهای شیمیایی آمونیوم‌دار، کودهای دامی و یا کمپوست‌ها می‌باشند. این موضوع سبب می‌گردد زئولیت به‌عنوان یک عامل کندرها برای آمونیوم عمل کرده و ضمن کاهش نیتریفیکاسیون و به‌تبع آن کاهش هدررفت نیتروژن، مقدار بیش‌تری از نیتروژن را به مدت طولانی‌تری در محیط ریشه نگه دارند (Rodríguez *et al*., 2019). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل‌شده عناصر غذایی از زئولیت‌ها باعث می‌شود در صورت انتخاب صحیح نوع آن، هنگامی‌که به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت عناصر غذایی و آب به بهبود رشد گیاهان کمک نمایند (Zijun *et al*., 2021). جلیلیان و رنجبر (Jalilian & Ranjbar, 2024) بیان داشتند که کاربرد زئولیت‌های سدیمی و کلسیمی، جذب پتاسیم را در خاک افزایش داد و میزان این افزایش در تیمارهای حاوی زئولیت سدیمی نسبت به زئولیت کلسیمی بیشتر بود. اصلانی و همکاران (Aslani *et al*., 2021) در آزمایشی بر روی گندم گزارش کردند مقدار پروتئین دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت با کاربرد زئولیت و نیتروژن در

مقایسه با شاهد افزایش یافت. باغبانی آرانی و همکاران (Baghbani Arani *et al*., 2017) بیان داشتند که در اکثر تیمارهای آبیاری، مصرف زئولیت و ورمی‌کمپوست با افزایش دسترسی آب و عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در شنبلیله گردید. نافعی و همکاران (Nafeie *et al*., 2021) نیز گزارش کردند بیش‌ترین ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، طول برگ پرچم، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله بارور در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و درصد پروتئین دانه گندم در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی همراه با ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به دست آمد.

از آنجایی که گسترش کشت گندم در مناطق مختلف جهان این گیاه را تحت تأثیر شرایط محیطی مختلف قرار داده، واکنش‌های متفاوت عملکرد آن زمینه و ضرورت انجام تحقیق در خصوص استفاده بهینه از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را به همراه کاربرد ترکیبات طبیعی مانند کانی زئولیت، جهت افزایش عملکرد در واحد سطح را فراهم نموده است. در این راستا، به‌منظور بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گندم این تحقیق در منطقه دزفول اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر اساس طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت مزرعه‌ای در منطقه دزفول، واقع در شمال استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۴۸ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس طبقه‌بندی ولادیمیر کوپن منطقه دزفول دارای آب‌وهوای نیمه خشک و گرم با زمستان ملایم و پوشش گیاهی نیم جنگلی است. با توجه به آمار و اطلاعات بلند مدت (آمار ۳۰ ساله) ایستگاه هواشناسی منطقه جنوب غرب، واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول، دارای میانگین بارندگی سالیانه ۳۸۶ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالیانه ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت سالیانه به ترتیب معادل ۳۱/۸ و ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالیانه ۵۵ درصد می‌باشد.

تیمارها شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به‌عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع کود شیمیایی اوره (محتوی ۴۶ درصد نیتروژن) به‌عنوان کرت‌های فرعی بود. مراحل آماده‌سازی زمین و عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم جهت تسطیح و خرد کردن کلوخه-ها انجام شد. پنجاه‌درصد تیمارهای کودی نیتروژن به‌صورت پایه و قبل از دیسک دوم به همراه تیمارهای زئولیت طبیعی (زئولیت کلینوپتیلولیت از معادن زئولیت سمنان تهیه‌شده توسط شرکت خدمات کشاورزی گلدشت دزفول) به‌طور یکنواخت در مزرعه توزیع و سپس به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. پنجاه‌درصد میزان کود نیتروژن باقیمانده تیمارها نیز به‌صورت سرک در دو مرحله (ابتدای مرحله پنجه‌زنی و مرحله ساقه رفتن) اعمال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک محل آزمایش (جدول ۱) و توصیه‌های تحقیقاتی کودی، مقادیر کودهای فسفره و پتاسه موردنیاز از منابع کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم تأمین و به‌صورت پایه و قبل از دیسک دوم به‌صورت یکنواخت در مزرعه توزیع و به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. در این آزمایش، گندم رقم چمران دو (تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۸۹ سانتی‌متر، متحمل به خوابیدگی، زودرسی نسبی، میانگین وزن هزار دانه ۴۱ گرم، کیفیت نانوایی بسیار خوب) در کرت‌هایی که شامل شش خط کشت به طول هفت متر، فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود، در تاریخ ۲۰ آذرماه کشت شد. اولین آبیاری کرت‌های آزمایشی پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز و دیگر آفات احتمالی، در صورت نیاز در مرحله داشت انجام شد. به‌منظور بررسی اثر تیمارهای اعمال‌شده بر صفات مورد ارزیابی، در مرحله رسیدگی کامل پس از حذف یک متر حاشیه از بالا و پایین دو خط میانی هر کرت، محصول هر خط به طول پنج‌متر (سطحی معادل دو مترمربع) به‌وسیله داس کف‌بُر شد. سنبله‌های سطح برداشت‌شده، با دست جدا و شمارش شد و تعداد آن‌ها در واحد سطح مشخص گردید. جهت تعیین تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله، ۲۰ سنبله به‌صورت تصادفی از سنبله‌های برداشت‌شده انتخاب و تعداد سنبلچه‌های آن‌ها شمارش و پس از کوبیدن

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physico-chemical properties of experimental site

Sampling depth (cm)	Soil texture	Nitrogen (%)	Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	Potassium ($mg.kg^{-1}$)	Organic matter (%)	pH	Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)
0-30	Silty loam	0.059	10.4	183	0.86	7.74	1.17

سنبله‌ها، دانه‌ها جدا و تعداد دانه در سنبله پس از شمارش و معدل‌گیری مشخص شد. وزن هزار دانه، با شمارش و توزین یک نمونه تصادفی به تعداد ۱۰۰۰ دانه از محصول هر کرت، مشخص گردید. وزن کل محصول برداشت‌شده از دو خط مذکور، جهت برآورد میزان عملکرد بیولوژیکی در نظر گرفته شد. پس از کوبیدن محصول برداشت‌شده، کاه و کلش باقیمانده از محصول دانه، جدا و وزن دانه‌های به دست آمده به‌عنوان عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی) منظور گردید. شاخص برداشت نیز به‌صورت درصد، از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی ضرب در ۱۰۰ محاسبه گردید (Nouriyani, 2017). درنهایت، آنالیز واریانس و تحلیل آماری داده‌های تیمارهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.3) صورت گرفت. همچنین مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی، بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد سنبله در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زئولیت و نیتروژن و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار بود (جدول ۲). با مقایسه میانگین اثر متقابل بین زئولیت و نیتروژن مشخص شد که بیش‌ترین تعداد سنبله در مترمربع (۵۰۳/۳) به تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین تعداد آن (۳۶۹/۷) به ترکیب تیماری عدم مصرف زئولیت (شاهد) و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که مصرف ۱۲ تن زئولیت در هکتار شرایط بهتری را از نظر رشد و تأمین آب و مواد مغذی موردنیاز گیاه فراهم نموده و گیاه هم از طریق افزایش تعداد و بقای پنجه‌های بارور در هر بوته، تعداد سنبله بیشتری را در واحد سطح تولید کرده است. اثر مثبت زئولیت بر تعداد سنبله در واحد سطح توسط اصلانی و همکاران (Aslani *et al*., 2021) و نافعی و همکاران (Nafeie *et al*., 2021) نیز گزارش‌شده است.

تعداد سنبلچه در سنبله

نتایج به دست آمده از آزماش نشان داد که تفاوت صفت تعداد سنبلچه در سنبله برای تیمارهای زئولیت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). در این تحقیق با افزایش سطوح زئولیت و نیتروژن تعداد سنبلچه در سنبله به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین تعداد سنبلچه در سنبله (۱۵/۴۴) مربوط به تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۱۲/۲۵) مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (جدول ۳). نظریان و همکاران (Nazarian *et al*., 2022) بیان کردند که افزایش میزان نیتروژن از طریق افزایش سطح فتوسنتز کننده، باعث تأمین مواد فتوسنتزی موردنیاز رشد سنبله شده و این واکنش، افزایش تولید سنبلچه در سنبله را در گندم به همراه دارد. همچنین، زئولیت از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند افزایش محتوای کلروفیل (به‌ویژه کلروفیل b)، کارایی فتوسنتز را افزایش داده و از طریق بقاء سنبله‌ها، باعث تولید بیشتر سنبلچه در سنبله می‌گردد (Azogh *et al*., 2018).

تعداد دانه در سنبله

در این تحقیق اثر ساده زئولیت و نیتروژن و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میانگین تعداد دانه در سنبله (۳۱/۲۰) به تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۱۷/۱۶) به تیمار عدم مصرف زئولیت همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت (جدول ۳). زئولیت با توجه به‌خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فرد خود توانایی خاک را برای جذب، نگهداری و درنهایت آزادسازی تدریجی

عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن افزایش می‌دهد. با کاربرد زئولیت هدرروی نیتروژن کم‌تر شده و جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین، افزایش جذب و کارایی نیتروژن مهم‌ترین دلیل بهبود فتوسنتز و درنهایت افزایش تعداد دانه در سنبله در حضور زئولیت است (Aqeel & Abdullah Radi, 2020).

وزن هزار دانه

بررسی نتایج این تحقیق نشان داد تفاوت صفت وزن هزار دانه برای تیمار زئولیت و اثر متقابل زئولیت و نیتروژن معنی‌دار بود، اما اثر تیمار نیتروژن از نظر صفت مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲). اگرچه تأثیر نیتروژن بر صفت وزن هزار دانه از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، ولی با افزایش میزان مصرف آن وزن دانه اندکی افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی مشخص نمود که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن هزار دانه با مقادیر ۴۰/۲۷ گرم و ۳۶/۱۴ گرم به ترتیب به تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ترکیب تیماری عدم مصرف زئولیت و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مربوط بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزار دانه می‌تواند به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و پتاسیم در مرحله پر شدن دانه و اثر مثبت زئولیت در به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها به‌ویژه برگ پرچم و افزایش دوره پر شدن دانه‌ها باشد؛ زیرا میزان فتوسنتز و بارگیری مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد در دوران رشد دانه افزایش‌یافته و به‌اندازه کافی اسیمیلات‌های فتوسنتزی به دانه‌ها ارسال‌شده و متناسب با شدت افزایش تخصیص و ارسال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، وزن دانه‌های تشکیل‌شده در سنبله بیش‌تر می‌گردد (Budiyanto, 2020). خدایی و همکاران (Khodaei *et al*., 2020) بیان داشتند که زئولیت‌ها با شکل ساختمانی متخلخل و ظرفیت تبادلی بالا نقش مهمی در ذخیره رطوبت و افزایش حاصلخیزی خاک دارند و باعث حفظ و افزایش رطوبت خاک گردیده و با در اختیار قرار دادن عناصر غذایی و آب در زمان پر شدن دانه، سبب افزایش فتوسنتز و بهبود انتقال مواد به دانه و افزایش وزن هزار دانه می‌شوند.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای زئولیت و نیتروژن و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بیانگر آن است که بیش‌ترین عملکرد دانه به میزان ۵۰۶۱ کیلوگرم در هکتار از ترکیب تیماری ۱۲ تن زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن به میزان ۲۴۴۶/۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار عدم مصرف زئولیت همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۳). از آنجایی که عملکرد دانه در گندم مهم‌ترین بخش اقتصادی گیاه است و نتیجه برآیند اجزای عملکرد (تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه) و دیگر صفات مرتبط با آن می‌باشد (Poudela *et al*., 2021). سلمانیان و همکاران (Salmanian *et al*., 2024) در آزمایشی با بررسی اجزای عملکرد گندم بیان داشتند که افزایش عملکرد دانه به دلیل افزایش تعداد پنجه بارور و وزن هزار دانه می‌باشد. در آزمایش حاضر نیز، افزایش در اجزای عملکرد ناشی از مصرف زئولیت و نیتروژن، منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. زئولیت‌ها می‌توانند با محبوس کردن عناصر غذایی ازجمله نیتروژن به آماده‌سازی آن‌ها برای جذب تدریجی توسط چرخه غذایی عناصر کمک نمایند و با جذب یون آمونیوم، مانع تبدیل سریع آن به نیترات و درنتیجه باعث کاهش هدر رفتن نیتروژن شوند. این امر سبب افزایش طول دوره رشد گردیده و از طریق افزایش مقدار فتوسنتز و حفظ سطح فتوسنتز کننده، منجر به افزایش عملکرد گردند (Kharisun *et al*., 2021). افزایش عملکرد در شرایط مصرف زئولیت توسط محققان دیگری نیز گزارش‌شده است (Zheng *et al*., 2018؛ Ghodsi *et al*., 2020؛ Karimi *et al*., 2020).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم تحت تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن

Table 2. Results of variance analysis of yield components, grain yield, biological yield, and harvest index of wheat under the influence of different levels of zeolite and nitrogen

Source of variation	df	Mean of squares						
		Spike.m^2	Spiklet. Spike	Grain. Spike	1000-Grain weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index
Replication	2	1336.02	60.17	12.51	48.04	51779.69	231285.56	55.98
Zeolite (Z)	3	4409.24**	1.40*	17.92**	9.35*	923952.17**	2250350.03*	4.28^{ns}
Error (a)	6	140.79	0.27	1.79	1.86	68321.44	251793.81	0.935
Nitrogen (N)	3	13901.91**	16.68**	305.62**	4.86^{ns}	8933350.22**	118316087.20**	158.72**
Z × N	9	457.89**	0.59*	3.89*	3.95*	221891.57**	824836.91**	1.85*
Error (b)	24	138.74	0.25	1.58	1.63	67643.94	249919.30	0.78
Coefficient of variation (%)		2.79	3.64	5.19	3.38	7.25	5.30	2.28

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای زئولیت و نیتروژن بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم

Table 3. Comparison of the average interaction effect of zeolite and nitrogen treatments on yield components, grain yield, biological yield, and harvest index of wheat

Treatments		Spike.m^2	Spiklet.Spike	Grain.Spike	1000-Grain weight (g)	Grain yield (kg.ha^{-1})	Biological yield (kg.ha^{-1})	Harvest index (%)
Zeolite	Nitrogen							
Z_0	N_{50}	369.7 i	12.25 h	17.16 g	36.14 c	2446.7 j	5808.4 g	41.40 cd
	N_{100}	387.3 ghi	12.99 fgh	22.37 f	36.77 bc	2926.6 hij	7425.0 f	39.42 ef
	N_{150}	408.6 efg	14.08 cde	25.68 de	37.34 bc	3640.0 ef	10061.7 d	36.20 hij
	N_{200}	433.0 cd	14.70 abc	27.80 bcd	37.53 bc	4180.1 cd	12376.6 b	33.84 k
Z_4	N_{50}	377.6 hi	12.34 gh	17.50 g	36.54 c	2510.0 j	5940.0 g	42.27 bc
	N_{100}	407.8 efg	13.20 efg	22.80 f	37.20 bc	3150.2 ghi	7780.0 ef	40.50 de
	N_{150}	432.3 cd	14.25 bcd	26.24 cd	37.57 bc	3723.4 def	10120.1 d	36.78 ghi
	N_{200}	450.0 bc	14.86 abc	28.43 bc	38.30 abc	4360.0 bc	12785.4 b	34.14 k
Z_8	N_{50}	385.4 hi	12.41 gh	17.87 g	36.90 bc	2669.4 j	6140.0 g	43.54 ab
	N_{100}	415.7 def	13.27 efg	23.14 f	37.80 bc	3313.3 fgh	8055.3 ef	41.10 cd
	N_{150}	442.2 bc	14.41 bc	27.30 bcd	38.50 abc	3950.0 cde	10510.0 cd	37.64 gh
	N_{200}	460.0 b	15.12 ab	29.54 ab	39.20 ab	4776.4 ab	13693.4 a	34.87 jk
Z_{12}	N_{50}	395.7 fgh	12.51 fgh	18.15 g	37.87 abc	2750.0 ij	6210.0 g	44.34 a
	N_{100}	428.6 cde	13.38 def	23.90 ef	38.60 abc	3550.2 efg	8580.2 e	41.40 cd
	N_{150}	457.4 b	14.65 abc	28.17 bc	39.14 ab	4353.4 bc	11351.7 c	38.30 fg
	N_{200}	503.3 a	15.44 a	31.20 a	40.27 a	5061.0 a	14176.8 a	35.74 ij

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level, according to Duncan's test.

Z_0، Z_4، Z_8 و Z_{12}: به ترتیب کاربرد مقادیر صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن زئولیت در هکتار

Z_0, Z_4, Z_8 and Z_{12}: Application of zero, 4, 8 and 12 tons of zeolite per hectare, respectively.

N_{50}، N_{100}، N_{150} و N_{200}: به ترتیب کاربرد مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

N_{50}, N_{100}, N_{150} and N_{200}: Application of 50, 100, 150 and 200 kg of nitrogen per hectare, respectively.

عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تفاوت صفت عملکرد بیولوژیکی برای سطوح مختلف تیمارهای زئولیت و نیتروژن و همچنین اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش میزان مصرف زئولیت و نیتروژن در این آزمایش باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی گردید، به‌طوری که مقایسه میانگین داده‌ها مشخص نمود بیش‌ترین میزان صفت مذکور (۱۴۱۷۶/۸ کیلوگرم در هکتار) به ترکیب تیماری ۱۲ تن زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۵۸۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد، افزایش عملکرد بیولوژیکی در سطوح بالای مصرف زئولیت و نیتروژن، به دلیل فراهمی بیش‌تر نیتروژن که باعث افزایش سطح برگ، بهبود رشد رویشی و افزایش پوشش گیاهی گردیده و این امر منجر به افزایش دریافت تشعشع، افزایش تثبیت CO_2 و درنهایت افزایش عملکرد بیولوژیکی شده است. آذوق و همکاران (Azogh *et al*., 2018) بیان داشتند که اضافه کردن زئولیت مانع هدر رفتن نیتروژن و سایر عناصر غذایی موجود در خاک شده و با جلوگیری از شست و شوی نیتروژن باعث افزایش وزن خشک کل گیاه می‌شود. این نتیجه با یافته‌های یزدانی و همکاران (Yazdani, *et al*., 2024) مطابقت دارد.

شاخص برداشت

بررسی نتایج ارائه‌شده در جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر ساده نیتروژن و اثر متقابل زئولیت و نیتروژن بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار بود، اما تفاوت این صفت برای اثر ساده زئولیت معنی‌دار نبود (جدول ۲). همان‌گونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌گردد، با افزایش میزان مصرف نیتروژن، شاخص برداشت کاهش یافت. با توجه به اینکه در این تحقیق میزان تغییرات عملکرد بیولوژیکی ناشی از سطوح مختلف نیتروژن، بیش‌تر از تغییرات عملکرد دانه بود، کاهش شاخص برداشت در اثر افزایش سطوح مصرف نیتروژن، دور از انتظار نبود. در این ارتباط کادار و همکاران (Kadar *et al*., 2019) بیان کردند، کاهش شاخص برداشت در اثر افزایش میزان مصرف نیتروژن، به دلیل تأثیر بیش‌تر کود نیتروژن بر افزایش رشد رویشی و عملکرد بیولوژیکی، در مقایسه با عملکرد دانه می‌باشد. بیش‌ترین میزان شاخص برداشت (۴۴/۳۴ درصد) در تیمار ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۳۳/۸۴ درصد) از تیمار عدم مصرف زئولیت همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل گردید (جدول ۳). اگرچه اثر زئولیت بر شاخص برداشت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، ولی با افزایش میزان مصرف آن، صفت مذکور اندکی افزایش یافت. به نظر می‌رسد، افزایش شاخص برداشت در تیمارهای مصرف زئولیت به دلیل دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی ضروری و بهینه‌سازی تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها باشد که این امر نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی (شاخص برداشت) را بهبود می‌بخشد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که زئولیت طبیعی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، نه‌تنها به‌تنهایی اثرات مثبتی داشته، بلکه کاربرد توأمان آن و کود شیمیایی نیتروژن (اوره) تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد دانه گندم و اجزای تشکیل‌دهنده آن ازجمله تعداد سنبله در مترمربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه داشت. بیشترین میزان و تعداد صفات مذکور به تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت که در مقایسه با تیمار عدم مصرف زئولیت (شاهد) در این شرایط، به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۱، ۱۶/۲، ۵/۱، ۱۲/۲ و ۷/۳ درصد در عملکرد دانه و اجزای عملکرد گردید. با توجه به یافته‌های این مطالعه، برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه گندم در شرایط مشابه، تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت طبیعی همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در هکتار به کشاورزان و بهره‌برداران بخش کشاورزی توصیه می‌شود. در پایان می‌توان اظهار داشت، این پژوهش مقدمه‌ای برای توسعه سامانه‌های کشاورزی پایدار و تعادل تغذیه‌ای گندم بوده و بررسی اثر زئولیت در ترکیب با سایر منابع نیتروژن و دیگر عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر و پتاسیم) به‌منظور دستیابی به الگوهای تغذیه‌ای پایدارتر در گندم و سایر گیاهان زراعی جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با همکاری و حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور استان خوزستان انجام گردیده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, A. M., Hosseinpanahi, F., & Khaleghpanah, N. (2021). Effect of zeolite and nitrogen on some basic soil properties and wheat yield in potato-wheat rotation. Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 44(1), 97–119. (in Persian)

Azogh, A., Marashi, S. K. I., & Babaeinejad, T. (2018). Effect of zeolite on root dry matter and yield parameters of wheat in polluted soil by chemical weapons. Plant Productions, 40(4), 21–30. (in Persian)

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield and water productivity of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 19(3), 239–254. (in Persian)

Budiyanto, G. (2020). The application of zeolite to increase nitrogen use efficiency in corn vegetative growth in coastal sandy soils. Journal Agrosains (Journal of Agro Science), 8(1), 1–6.

Emam, Y., & Seghateleslami, M. J. (2015). Crop yield (physiology and processes). Shiraz University Press. (in Persian)

Fan, R., Chen, C., Lin, J., Tzeng, J., Huang, C., Dong, C., & Huang, C. P. (2019). Adsorption characteristics of ammonium ion onto hydrous biochars in dilute aqueous solutions. Bioresource Technology, 272, 465–472.

Ghodsi, M. H., Esfahani, M., Tehrani, M. M., & Aalami, A. (2020). Effect of fertilizer management and the application of zeolite on agronomic traits and grain yield of maize (Zea mays L.) hybrids under deficit irrigation conditions. Iran Agricultural Research, 39(1), 87–98.

Hussain, N. A., & Radi, A. M. (2020). Effect of ground and natural zeolite on growth and yield of wheat. Plant Archives, 20(1), 609–615

Jalilian, S., & Ranjbar, F. (2024). The effect of humic acid and Na and Ca-zeolites on potassium adsorption isotherms in a loamy soil. Applied Soil Research, 12(3), 33–46. (in Persian)

Kadar, R., Muntean, L., Racz, I., Ona, A. D., Ceclan, A., & Hiriscau, D. (2019). The effect of genotype, climatic conditions and nitrogen fertilization on yield and grain protein content of spring wheat (Triticum aestivum L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 7(2), 515–521.

Karimi, S., Hadi, H., Tajbaksh, M., & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2020). Effect of zeolite on nitrogen use efficiency and physiological and biomass traits of amaranth (Amaranthus hypochondriacus) under water-deficit stress conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20, 1427–1441.

Kharisun, H., Budiono, M. N., & Rifan, M. (2021). The effects of zeolite based slow release nitrogen fertilizer and sulfur on the dynamics of N.P.K. and S soil nutrients, growth and yield of shallot (Allium cepa L.). Advances in Biological Sciences Research, 9, 288–292.

Kheir, A. M. S., Shabana, M. M. A., & Seleiman, M. F. (2018). Effect of gypsum, sulfuric acid, nano-zeolite application on saline-sodic soil properties and wheat productivity under different tillage types. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 9(12), 829–838.

Khodaei, A., Moshatati, A., Mousavi, S. H., Pakdaman, B., & Abdollahi, M. (2020). Investigating the alleviation of water deficit stress on wheat growth and yield using zeolite and fungus Piriformospora indica. Journal of Water Research in Agriculture, 33(4), 613–627. (in Persian)

Mansour, E., Merwad, A., Yasin, M., Abdul-Hamid, M., El-Sobky, E., & Oraby, H. (2017). Nitrogen use efficiency in spring wheat: genotypic variation and grain yield response under sandy soil conditions. Journal of Agricultural Science, 155(9), 1407–1423.

Nafeie, O., Mozafari, H., & Rajabzadeh, F. (2021). Investigation of the effect of application of natural zeolite and zinc sulfate on agronomic traits and wheat yield (Triticum aestivum L.) of Mahdavi cultivar. Journal of Plant Ecophysiology, 13(46), 15–27. (in Persian)

Nazarian, R., Samim, N. A., Sahabi, H., & Feizi, H. (2022). Effect of nitrogen supply sources on wheat (Triticum aestivum L.) quality and quantity yield. Journal of Agroecology, 14(2), 363–377. (in Persian)

Nour Mohammadi, G. H., Siadat, S. A., & Kashani, A. (2018). Agronomy (cereals). Shahid Chamran University Press. (in Persian)

Nouriyani, H. (2017). Effect of paclobutrazol levels on grain growth process and yield of three cultivars of wheat (Triticum aestivum L.) under post-anthesis heat stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 9(4), 407–415. (in Persian)

Poudela, P. B., Poudela, M. R., & Pur, R. R. (2021). Evaluation of heat stress tolerance in spring wheat (Triticum aestivum L.) genotypes using stress tolerance indices in western region of Nepal. Journal of Agriculture and Food Research, 5, 100179.

Rabai, K. A., Ahmed, O. H., Dan, S., & Kasim, B. (2013). Use of formulated N, phosphorus, and potassium compound fertilizer using clinoptilolite zeolite in maize (Zea mays L.) cultivation. Emirates Journal of Food and Agriculture, 25(9), 713–722.

Rodríguez, A., Sáez, P., Díez, E., Gómez-García, J. M., & Bernabé, I. (2019). Highly efficient low-cost zeolite for cobalt removal from aqueous solutions: characterization and performance. Environmental Progress and Sustainable Energy, 38, 352–365.

Roussis, I., Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Baginetas, K., Kanatas, P., Beslemes, D., & Kakabouki, I. (2025). Zeolite and inorganic nitrogen fertilization effects on performance, lint yield, and fiber quality of cotton cultivated in the Mediterranean region. Crops, 5(3), 109–117.

Salmanian, F., Mousavi, S. B., Feiziasl, V., Karimi, E., & Sfandiary, E. (2024). Effect of foliar application of nutrients and growth regulators on yield of wheat under water stress (with removing the last stage of irrigation) at the end of the growing season. Applied Soil Research, 12(3), 67–80. (in Persian)

Sharifi, P., & Amiryusefi, M. (2017). Effects of nitrogen and azotobacter on yield and yield components of wheat (Triticum aestivum L.) cv. Roushan. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(2), 125–144. (in Persian)

Yazdani, M., Akbari, G. A., & Seyed Sharifi, R. (2024). The effects of nitrogen and biofertilizers (mycorrhiza and azotobacter) on chlorophyll content, yield and grain filling components of wheat. Cereal Research, 14(1), 83–98. (in Persian)

Zheng, J., Chen, T., Xia, G., Chen, W., Liu, G., & Chi, D. (2018). Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(1), 157–164.

Zijun, Z., Effeney, G., Millar, G. J., & Stephen, M. (2021). Synthesis and cation exchange capacity of zeolite from ultra-fine natural zeolite waste. Environmental Technology and Innovation, 23, 101595.