

Effect of Zeolite and Manure Application on Yield, Component Yield and Concentration of Some Nutrients in Soil and Rice (*Oryza sativa L.*).

Elahe Yazdani Abdolmaleki¹, Mohammad Ali Bahmanyar^{2*}, Fardin Sadegh Zadeh³

(Received: January 2025 Accepted: October 2025)

Abstract

Organic manures, as suitable alternatives to synthetic soil amendments, supply plant nutrients and contribute to the sustainability of agricultural ecosystems. This research was conducted to determine the effects of zeolite and cow manure applications on yield and yield components, as well as on the availability of some nutrients in the soil and rice. The experiment based on a randomized complete block design was conducted in Behshahr in 2020. The treatments included: a control (without manure and zeolite), manure at four levels of 2.5, 5, 7.5, and 10 ton.ha⁻¹, and zeolite at four levels of 2.5, 5, 7.5, and 10 ton.ha⁻¹, in nine treatments and three replications. The results showed that the effects of the treatments were significant on seed yield and yield components. The highest seed yield (10.89 ton.ha⁻¹) was observed with 10 ton.ha⁻¹ zeolite (T₉). The highest biomass (39.31 ton.ha⁻¹), plant height (121 cm), and number of tillers (33) were observed with 7.5 ton.ha⁻¹ zeolite (T₈), and increasing manure to 10 ton.ha⁻¹ increased thousand-seed weight by 5.6 %. The results showed that the effects of the treatments were significant on soil and grain nitrogen and grain potassium. Mean comparison showed that increasing zeolite levels to 10 ton.ha⁻¹ (T₉) increased soil nitrogen by about 17%, and the highest grain nitrogen and grain potassium were obtained w 10 ton.ha⁻¹ zeolite (T₉). The results of this study demonstrate that zeolite was more effective than manure for rice yield and yield components and the 7.5 and 10 ton.ha⁻¹ zeolite treatments were the most effective for the studied traits.

Key words: grain yield, manure, rice, zeolite.

Yazdani Abdolmaleki E., Bahmanyar M.A., Sadegh Zadeh F. 2025. Effect of zeolite and manure application on yield, component yield and concentration of some nutrients in soil and rice (*Oryza sativa L.*). *Applied Soil Research*, 14(2): 46-58.

1- Graduated MSc Student, Department of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari. Iran.

2- Professor, Department of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari. Iran.

3- Associate Professor, Department of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari. Iran.

* Corresponding Author Email: mali.bahmanyar@gmail.com

تأثیر کاربرد زئولیت و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در خاک و گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)

الهه یزدانی عبدالملکی^۱، محمد علی بهمنیار^{۲*}، فردین صادق زاده^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳)

چکیده

اصلاح‌کننده‌های طبیعی و کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی، ضمن تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به پایداری اکوسیستم‌های زراعی کمک می‌نمایند. این پژوهش با هدف تعیین اثر کاربرد زئولیت و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و فراهمی عناصر پرمصرف در خاک و گیاه برنج رقم شیرودی، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شهرستان بهشهر در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارها شامل: شاهد (بدون کاربرد کود دامی و زئولیت)، کود دامی در چهار سطح ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ تن در هکتار و همچنین زئولیت در چهار سطح ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ تن در هکتار، در ۹ تیمار و سه تکرار بود. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد معنی‌دار شد. بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۰/۸۹۳ تن در هکتار) در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار زیست‌توده، ارتفاع بوته و تعداد پنجه در تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T₈) مشاهده شد و با افزایش سطوح کاربرد کود دامی به ۱۰ تن در هکتار (T₅) وزن هزار دانه ۵/۶ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آزمایش بر نیتروژن خاک و دانه و پتاسیم دانه معنی‌دار هستند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطوح کاربرد زئولیت به ۱۰ تن در هکتار، نیتروژن خاک ۷۱ درصد افزایش یافته و بیش‌ترین مقدار نیتروژن و پتاسیم دانه در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد، تأثیر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج بیش‌تر از کود دامی بود و تیمارهای ۷/۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت موثرترین تیمارها بر صفات مورد مطالعه بودند.

واژه‌های کلیدی: برنج، زئولیت، عملکرد دانه، کود دامی.

یزدانی عبدالملکی ا.، بهمنیار م.ا.، صادق زاده، ف. ۱۴۰۴. تأثیر کاربرد زئولیت و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در خاک و گیاه برنج (*Oryza sativa* L.). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۴، شماره ۲. صفحه: ۱۴، شماره ۲. ص: ۴۶-۵۸.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

* پست الکترونیک: mali.bahmanyar@gmail.com

مقدمه

کیفیت خاک در سیستم‌های کشاورزی به‌شدت تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای، ویژگی خاک، نوع محصول و روش‌های مدیریت مزرعه قرار دارد (Mahajan et al., 2021). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی، به دلیل اثرات مخرب بر سلامت انسان، محیط‌زیست و کیفیت خاک، به شدت مورد انتقاد است و تهدیدی جدی برای توسعه پایدار برنج‌کاری و امنیت غذایی محسوب می‌شود. (Kakar et al., 2020). برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی با سطح زیر کشت بیش از ۱۶۲ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۵۵ میلیون تن در جهان، نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (FAO, 2020). با توجه به گستردگی اراضی کشاورزی دارای بافت شنی و مشکلات ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن‌ها، ضرورت استفاده از اصلاح‌کننده‌های طبیعی نظیر کود دامی و زئولیت ضرورت دارد (Sha et al., 2022). زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های معدنی کریستالی و با شبکه سه‌بعدی هستند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها، حفره‌های حاوی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب است. به‌علت تحرک این کاتیون‌ها، پدیده‌ی تبادل یون که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، ایجاد می‌شود. زئولیت‌ها به سبب داشتن خصوصیات فیزیکوشیمیایی منحصر به فرد در کشاورزی، دامپروری و حذف آلاینده‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چهارچوب ساختمانی متخلخل در ساختار زئولیت موجب حرکت راحت‌تر آب و سایر کاتیون‌ها به درون آن می‌شود. به سبب حضور یون آلومینیوم با بار منفی در ساختار آن، میزان تبادل کاتیونی در آن افزایش یافته و به این ترتیب از ظرفیت نگهداری بالایی برای آب و همچنین عناصر غذایی برخوردار است و می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده، خصوصیات خاک را بهبود بخشد (Mihok et al., 2020). با توجه به این ویژگی‌ها و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور و همچنین با توجه به استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب آن، کاربرد این مواد در بخش کشاورزی می‌تواند گامی موثر در پیشرفت این بخش باشد (Kazemian, 2000). لطیف‌ا و همکاران (Latifah et al., 2017) بیان کردند که قابلیت دسترسی عناصری نظیر نیتروژن و پتاسیم با کاربرد زئولیت افزایش یافت. اسلام و همکاران (Islam et al., 2020) بیان کردند به دلیل میل

ترکیبی بالای زئولیت با یون آمونیوم و کمک به حفظ نیتروژن خاک، با کاربرد زئولیت در سطح پنج تن در هکتار، نیتروژن کل خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه بر زئولیت، کود دامی نیز به عنوان اصلاح‌کننده طبیعی در بسیاری از اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کود دامی مجموعه‌ای از مواد بستری، ادرار و مدفوع حیوانات است که از محل نگهداری آن به‌دست می‌آید و دارای حجم وسیعی از مواد آلی و غذایی است. این ماده در راستای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه استفاده می‌شود. این مواد ارزشمند در اراضی کشاورزی، به‌خصوص زمین‌های شنی می‌تواند اثرات مفید قابل‌توجهی داشته باشد (Akbari et al., 2021). کودهای آلی از جمله کودهای حیوانی قادر به افزایش قدرت نگهداری آب، کاهش تنش‌ها از جمله تنش خشکی، افزایش تنوع میکروبی، بهبود ساختمان و جلوگیری از فرسایش خاک هستند (Bertola et al., 2021 & Siedt et al., 2021). این کودها علاوه بر تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، رشد و عملکرد محصول را بهبود بخشیده و کیفیت و سلامت محصول را افزایش می‌دهند و می‌توانند به‌عنوان ترکیباتی مناسب برای کاهش تعدیل مصرف نهاده‌های شیمیایی به‌کار گرفته شوند (Iqbal et al., 2020). در کشور ما به‌دلیل پرورش دام و طیور در کنار زراعت برنج، همواره در سالیان دور از فضولات حیوانی به‌عنوان کود در شالیزارهای مناطق شمالی استفاده می‌کردند و در نتیجه بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برنج تأمین می‌شد (Shahdi Kumleh, 2019). نتایج یکی از مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد که کاربرد کود حیوانی و کمپوست علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد برنج در مقایسه با شاهد شد (Bejbaruah et al., 2013). نتایج بررسی دیگری نشان می‌دهد که کودهای آلی دارای اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بسیاری در بهبود شاخص‌های کیفی خاک و تغذیه گیاه برنج هستند (Nishikawa et al., 2014). معدنی شدن عناصر غذایی از منابع کودهای آلی در طول دوره رشد گیاه اهمیت زیادی دارد. فرایند معدنی شدن عناصر غذایی به خصوص نیتروژن از منابع آلی تحت تأثیر رطوبت خاک قرار دارد؛ به طوری که

شیروودی با هدف کاهش و تعدیل مصرف کودهای شیمیایی و تعیین حد بهینه مصرف کودهای دامی و زئولیت گامی مؤثر برای ترویج روش‌های کم نهاده و بدون نهاده در تولید محصولات کشاورزی بوده و به پایداری در اکوسیستم‌های تولید برنج سالم و ارگانیک کمک قابل توجهی خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۰ در روستای زاغمرز شهرستان بهشهر انجام شد. این منطقه واقع در مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی اجرا شد. خاک سطحی مزرعه (۰-۲۵ سانتی‌متر) قبل از اجرای طرح، نمونه‌برداری شد و پس از آماده‌سازی، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil

Available k (mg. kg ⁻¹)	Available p (mg. kg ⁻¹)	N (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Organic carbon (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
75.9	7.8	0.09	1.7	7.5	0.82	85	11	4	Sandy

تعیین شدند. همچنین پتاسیم قابل جذب با استخراج با اسات آمونیوم یک‌مولار و قرائت با دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری گردید. درصد عناصر تشکیل دهنده زئولیت با دستگاه فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF)، ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت (Hosseini et al., 2007)، قابلیت هدایت الکتریکی (۱:۵) و pH زئولیت (۱:۵) اندازه‌گیری شد (Spark et al. 1996) که در جدول ۲ آورده شد.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی زئولیت

Table 2. Selected chemical characteristics of zeolite

K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	CEC (Cmol _c . Kg ⁻¹)	EC (dS. m ⁻¹)	pH	sample
1.71	0.85	1.28	14.42	1.42	5.67	44.24	120	0.6	7.9	zeolite

اسید کلریدریک ۲ نرمال به محتویات داخل کروزه اضافه شد و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسید و از نمونه‌ها عصاره‌گیری به عمل آمد. سپس فسفر به روش رنگ سنجی آمونیوم مولیبدات وانادات (Olsen & Sommers, 1986)، پتاسیم با دستگاه فلیم فوتومتر و عناصر کم مصرف با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

افزایش رطوبت از ۴۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، موجب افزایش سرعت معدنی شدن نیتروژن و افزایش میزان نیتروژن معدنی گردید. همچنین به نظر می‌رسد در مزارع برنج به دلیل شرایط احیاء، معدنی شدن با سرعت کمتری رخ می‌دهد (Madroomi et al, 2015). کاربرد کودهای آلی در مزارع برنج شمال ایران به علت دسترسی آسان کودهای شیمیایی، عکس العمل سریع گیاه به مصرف این کودها و نبود روش‌های جایگزین مناسب، بسیار ناچیز است. با این وجود، هزینه زیاد کودهای شیمیایی، همراه با آلودگی‌های زیست‌محیطی آن‌ها، باعث شده محققان در پی جایگزین کردن کودهای شیمیایی با کودهای آلی باشند. از طرفی، در بین ارقام محلی برنج، رقم شیروودی یکی از ارقام پرمحصول برنج می‌باشد. لذا پژوهش حاضر تحت عنوان تأثیر کاربرد زئولیت و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و فراهمی عناصر پرمصرف در خاک و گیاه برنج رقم

برای اندازه‌گیری بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد (Day, 1965). کربن آلی خاک به روش والکی و بلک تعیین گردید (Walkley & Black, 1934). هدایت الکتریکی و pH نیز بر اساس روش اسپارکس و همکاران اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 1996). نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982)

همچنین کود دامی مورد آزمایش از نوع کود گاوی بود که pH و هدایت الکتریکی (۱:۵) (Sparks et al, 1996) و درصد نیتروژن کود با دستگاه کج‌لدال اندازه‌گیری شد (Mulvaney & borner, 1982). جهت اندازه‌گیری سایر عناصر ۰/۵ گرم از نمونه به روش هضم به طریقه سوزاندن خشک داخل کوره الکتریکی به مدت ۱۰ ساعت با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی

Table 3. Selected chemical characteristics of manure

Zn (mg. kg ⁻¹)	Cu (mg. kg ⁻¹)	Mn (mg. kg ⁻¹)	Fe (mg. kg ⁻¹)	K (%)	P (%)	N (%)	EC (ds.m ⁻¹)	pH	Sample
42	15	166	2450	0.6	0.3	0.9	5.5	7.7	Cow manure

این مطالعه به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در ۹ تیمار و سه تکرار بر روی برنج رقم شیرودی اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (بدون مصرف کود دامی و زئولیت) (T₁)، ۲/۵ تن کود دامی در هکتار (T₂)، ۵ تن کود دامی در هکتار (T₃)، ۷/۵ تن کود دامی در هکتار (T₄)، ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T₅)، ۲/۵ تن زئولیت در هکتار (T₆)، ۵ تن زئولیت در هکتار (T₇)، ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T₈) و ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) است. در این آزمایش ۲۷ کرت به ابعاد ۴ متر × ۴ متر مرزبندی و دیواره هر کرت عمق ۴۰ سانتیمتر توسط نایلون پوشیده شد. برای هر کرت آب ورودی و زهکشی جداگانه‌ای در نظر گرفته شد. کشت نشاهای برنج در خرداد ۱۴۰۱ انجام شد. نشاهای مورد استفاده برای کشت برنج در مرحله سه تا پنج برگی از خزانه مورد نظر پروژه تهیه شدند. در طول دوره کشت برنج از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد. کنترل جمعیت علف‌های هرز از طریق بازدیدهای مرتب روزانه و هفتگی با مبارزه مکانیکی و آبیاری به صورت غرقاب دائم انجام شد. طول دوره رشد رقم شیرودی از زمان بذرپاشی در خزانه تا مرحله رسیدن کامل ۱۰۴ روز است. برداشت در مرحله رسیدگی برنج در اواخر مرداد ماه در زمان رسیدگی محصول برنج، یک مترمربع از مرکز هر کرت برداشت و تعداد پنجه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه شمارش و میزان عملکرد دانه و بایومس اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت برنج، از خاک هر کرت نمونه‌برداری به عمل آمد. اندازه‌گیری عناصر دانه به این ترتیب انجام شد: نیتروژن به روش کج‌لدال (Bremner & Mulvaney, 1982)؛ فسفر به روش چاپمن و پرات (Chapman & Pratt, 1961)؛ و پتاسیم نیز با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد.

این مطالعه به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در ۹ تیمار و سه تکرار بر روی برنج رقم شیرودی اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (بدون مصرف کود دامی و زئولیت) (T₁)، ۲/۵ تن کود دامی در هکتار (T₂)، ۵ تن کود دامی در هکتار (T₃)، ۷/۵ تن کود دامی در هکتار (T₄)، ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T₅)، ۲/۵ تن زئولیت در هکتار (T₆)، ۵ تن زئولیت در هکتار (T₇)، ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T₈) و ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) است. در این آزمایش ۲۷ کرت به ابعاد ۴ متر × ۴ متر مرزبندی و دیواره هر کرت عمق ۴۰ سانتیمتر توسط نایلون پوشیده شد. برای هر کرت آب ورودی و زهکشی جداگانه‌ای در نظر گرفته شد. کشت نشاهای برنج در خرداد ۱۴۰۱ انجام شد. نشاهای مورد استفاده برای کشت برنج در مرحله سه تا پنج برگی از خزانه مورد نظر پروژه تهیه شدند. در طول دوره کشت برنج از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد. کنترل جمعیت علف‌های هرز از طریق بازدیدهای مرتب روزانه و هفتگی با مبارزه مکانیکی و آبیاری به صورت غرقاب دائم انجام شد. طول دوره رشد رقم شیرودی از زمان بذرپاشی در خزانه تا مرحله رسیدن کامل ۱۰۴ روز است. برداشت در مرحله رسیدگی برنج در اواخر مرداد ماه در زمان رسیدگی محصول برنج، یک مترمربع از مرکز هر کرت برداشت و تعداد پنجه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه شمارش و میزان عملکرد دانه و بایومس اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت برنج، از خاک هر کرت نمونه‌برداری به عمل آمد. اندازه‌گیری عناصر دانه به این ترتیب انجام شد: نیتروژن به روش کج‌لدال (Bremner & Mulvaney, 1982)؛ فسفر به روش چاپمن و پرات (Chapman & Pratt, 1961)؛ و پتاسیم نیز با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر میزان عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) (۱۰/۸۹۳) تن در هکتار) است که نسبت به تیمار شاهد (T₁)، ۶۳ درصد افزایش نشان داد. بین تیمارهای زئولیت، تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) صرفاً با تیمار ۲/۵ تن زئولیت در هکتار (T₆) تفاوت معنی‌دار داشت و با تیمارهای T₇ و T₈ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). زئولیت با ساختار متخلخل و کریستالی خود، قادر به جذب و نگهداری بیش از ۶۰ درصد وزنی آب است. این امر با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های شنی، فراهمی آب را برای گیاه بهبود بخشیده و به افزایش عملکرد کمک می‌کند. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد زئولیت را می‌توان به توانایی زئولیت در نگهداشت عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی و هدررفت آن در خاک و در نتیجه بهبود فراهمی آن برای گیاه نسبت داد (Latifah et al., 2017). شا و همکاران (Sha et al., 2022) بیان کردند که کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌ترتیب سبب افزایش ۱۱ و ۲۱ درصدی عملکرد دانه برنج شد. باغبانی و همکاران (Baghbani et al., 2017) افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف زئولیت را گزارش کردند.

جدول ۴- نتیجه تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه

Table 4. analysis of variance of the grain yield and component yield

Mean Square						
Source of variance	df	Grain Yield	Biomass	plant height	Thousand grain weight	number of tiller
Block	2	2496459	37061793	0.44	0.58	56.30
Treatment	8	4912903**	279736504**	136.25**	0.75**	53.01**
Error	16	3157359	79683143	12.23	0.36	16.67
CV (%)		15.18	22	3	2.91	14

**Significant difference at 0.01 level

افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه تحت تأثیر مصرف کودهای دامی بود.

ارتفاع بوته

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T_8) بیش‌ترین ارتفاع بوته را با میانگین ۱۲۱ سانتی‌متر داشت که نسبت به تیمار شاهد (T_1)، ۲۳ درصد افزایش یافت. همچنین تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T_8) با سایر سطوح زئولیت و تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5)، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد مصرف زئولیت با بهبود شرایط فیزیکی و حاصلخیزی خاک، سبب جلوگیری از کاهش طول ساقه می‌شود. بیکی و خاشعی سیوکی (Beyki & Khashei Siuki, 2019) بیان کردند، کاربرد ۴ گرم زئولیت در حالت آبیاری کامل می‌تواند سبب افزایش ارتفاع بوته سیاه دانه گردد. همچنین متشعزاده و عسگری (Motesharezadeh & Asgari, 2013) بیان کردند، کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته ذرت داشت و بیش‌ترین مقدار آن با کاربرد ۱۵ درصد وزنی زئولیت حاصل شد. در بین تیمارهای کود دامی بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۱۸/۳۳ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5)، می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد (T_1)، ۱۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). با مصرف کود دامی مقدار نیتروژن خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در نتیجه جذب این عنصر و رشد رویشی گیاه افزایش یافت. همچنین مقایسه بین تیمارهای زئولیت و کود دامی نشان داد تأثیرگذاری تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T_8) بر ارتفاع بوته بیش‌تر از تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5) بود. با مصرف کود دامی، مقدار نیتروژن خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در نتیجه جذب این عنصر و رشد رویشی گیاه افزایش یافت. مصرف مقادیر بالای کود آلی از طریق فراهم کردن عناصر غذایی، در ریزوسفر ریشه و جذب بهتر عناصر غذایی و افزایش فعالیت آنزیمی و میکروبی، سبب افزایش ارتفاع بوته برنج می‌شود (Kheyri, 2018). هم‌سو با نتایج این پژوهش، گودا و همکاران (Gowda et al., 2008) بیان کردند که تیمار کود دامی و شاهد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع را در گیاه گندم ایجاد کردند.

در بین تیمارهای کود دامی بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۰/۶۰ تن در هکتار) مربوط به تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5) است که نسبت به تیمار شاهد (T_1)، حدود ۵۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). همچنین در بین تیمارهای کود دامی، تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5)، با تیمارهای تیمار ۲/۵ تن کود دامی در هکتار (T_2) و تیمار ۵ تن کود دامی در هکتار (T_3)، تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۵). همچنین مقایسه بین تیمارها نشان داد در مقدار یکسان، اثر زئولیت بر افزایش عملکرد دانه بیش‌تر از اثر کود دامی است. به‌نظر می‌رسد کاربرد کود دامی با افزایش غلظت عناصر نیتروژن خاک سبب بهبود رشد رویشی و به‌دنبال آن افزایش عملکرد دانه گردید. همچنین مصرف کودهای آلی به‌دلیل بالا بودن میزان کربن آلی، باعث افزایش رشد ریشه‌ها شده و با تسهیل در جذب مواد غذایی و آب، رشد و نمو و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Jami et al., 2018). همچنین بررسی‌های غلامحسینی و همکاران (Gholam Hosseini et al., 2009) نشان داد که زئولیت به‌همراه کود دامی از طریق نگهداری عناصر غذایی در توده‌ی کودی، موجب فراهمی بیش‌تر عناصر برای گیاه شده و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات آتمن و همکاران (Atman et al., 2018) نیز نشان داد که با کاربرد ۱ تن در هکتار کود دامی از نوع گاوی، عملکرد دانه برنج ۰/۰۹۷ تن در هکتار افزایش یافت.

زیست‌توده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر میزان زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان زیست‌توده در تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T_8) (۳۹/۳۱۳ تن در هکتار) مشاهده شد که نسبت به شاهد (T_1) ۹۹ درصد افزایش یافت. بین تیمارهای زئولیت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین تیمارهای کود دامی بیش‌ترین مقدار زیست‌توده (۳۵/۵۳ تن در هکتار) در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5) مشاهده شد که صرفاً با تیمار ۲/۵ تن کود دامی در هکتار (T_2)، تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۵). با توجه به این نتایج می‌توان دریافت که استفاده از کود دامی و زئولیت در زراعت موجب افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی در خاک شده و در نتیجه موجب افزایش زیست‌توده می‌گردد. این نتایج مشابه نتایج حاصل از مطالعات منگیستو و همکاران (Mengistu et al., 2017) در خصوص

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه نیز تحت تاثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). با تفسیر نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، می‌توان دریافت که تیمار شاهد (T_1) دارای کم‌ترین وزن هزار دانه ($25/56$ گرم) بود و با افزایش سطوح کود دامی به ۱۰ تن در هکتار (T_5)، بیش‌ترین وزن هزار دانه (27 گرم) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد، $6/8$ درصد افزایش نشان داد. کود دامی می‌تواند از طریق افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن در طی پر شدن دانه‌ها موجب دوام سبزیگی برگ‌ها و افزایش فتوسنتز گیاه شوند که نتیجه آن می‌تواند بهبود وزن هزاردانه باشد. نتایج تحقیقات صالحی‌نیا و همکاران (Salehinia et al., 2023) نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه ارزن در تیمار کود دامی از سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار بدست آمد. همچنین نتایج جدول ۵ نشان داد در بین کاربرد مقادیر مختلف زئولیت، بیش‌ترین وزن هزاردانه ($26/8$ گرم) در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار

(T_9) مشاهده گردید که با سایر سطوح زئولیت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). اگرچه وزن هزاردانه یک صفت ژنتیکی است، با این حال به‌نظر می‌رسد که در صورت تغذیه مناسب گیاه، تولید مواد فتوسنتزی و ذخیره‌ی آن‌ها در دانه افزایش یافته و دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌شود. به‌نظر می‌رسد در مرحله تشکیل دانه به‌دلیل مصرف زئولیت و بهینه بودن شرایط در محیط ریشه سبب افزایش تعداد و وزن دانه شده است (Doni et al., 2020). اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2021) بیان کردند بیش‌ترین وزن هزاردانه گندم ($41/2$ گرم) با کاربرد ۱۵ تن زئولیت در هکتار بدست آمد. نتایج پازوکی (Pazoki, 2010) بر گیاه کلزا حاکی از افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در اثر مصرف زئولیت بوده، به‌طوری که کاربرد میزان ۱۲ تن در هکتار زئولیت بیش‌ترین وزن هزاردانه با میانگین $3/96$ گرم و عدم کاربرد آن کم‌ترین وزن هزاردانه را با میانگین $3/60$ گرم داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد

Table 5. Mean comparisons effect of treatments on grain yield and component yield.

Treatments	Grain yield (ton. ha ⁻¹)	Biomass (ton. ha ⁻¹)	plant height (cm)	Thousand grain weight (gr)	Number of tiller
T_1	6.66 ^c	19.70 ^d	98.66 ^c	25.26 ^c	19.33 ^b
T_2	9.13 ^b	23.87 ^c	111.33 ^b	25.93 ^{bc}	24.21 ^b
T_3	9.72 ^b	30.06 ^{ab}	111.33 ^b	26.86 ^{ab}	27.43 ^b
T_4	9.86 ^a	33.90 ^{ab}	111.02 ^b	26.70 ^{ab}	28.12 ^b
T_5	10.60 ^a	35.53 ^a	118.33 ^a	27.00 ^a	29.11 ^b
T_6	9.65 ^b	35.68 ^a	115.21 ^{ab}	26.60 ^{ab}	28.11 ^b
T_7	10.06 ^a	36.01 ^a	118.00 ^a	26.03 ^{abc}	30.00 ^{ab}
T_8	10.78 ^a	39.31 ^a	121.00 ^a	26.50 ^{abc}	33.00 ^a
T_9	10.89 ^a	33.90 ^{ab}	118.66 ^a	26.80 ^{ab}	32.66 ^a

In each column, means with at least one similar letter have no significant difference at 5% level based on LSD test.

تعداد پنجه

تعداد پنجه در کپه تحت تاثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد، بیش‌ترین تعداد پنجه (۳۳ در کپه) مربوط به تیمار $7/5$ تن زئولیت در هکتار (T_8) و در مقایسه با تیمار شاهد (T_0)، ۷۰ درصد افزایش نشان داد. همچنین مقایسه میان تیمارهای زئولیت نشان داد که بین تیمارهای T_9 ، T_8 ، T_7 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). سان و همکاران (Sun et al., 2020) اثر کاربرد صفر، پنج و ده تن در هکتار زئولیت بر خصوصیات برنج را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰ تن زئولیت سبب افزایش معنی‌داری در تعداد پنجه گردید. همچنین تیمار

۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5)، موثرترین تیمار در بین تیمارهای کود دامی بود (جدول ۵). همچنین می‌توان نتیجه گرفت، در بین مقادیر مختلف زئولیت و کود دامی، تیمارهای زئولیت تأثیر بیشتری بر تعداد پنجه داشتند. با توجه به نتایج به‌نظر می‌رسد که مصرف کود دامی با فراهم شدن شرایط تغذیه‌ای مناسب، ایجاد شرایط بهتر برای فعالیت بهتر میکروارگانیسم‌های مفید خاک و همچنین افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، می‌تواند سبب افزایش توان فتوسنتزی گیاه، تولید و ذخیره بیش‌تر ماده‌ی خشک و افزایش تعداد پنجه شود. شهدی و همکاران (Shahdi et al., 2021) بیان کردند که بیش‌ترین

تعداد پنجه در بوته از کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمد.

مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر میزان نیتروژن خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۶). نتایج

مقایسه میانگین نشان داد که کمترین میزان نیتروژن کل خاک با میانگین ۰/۱۰۱ درصد در تیمار شاهد (T_0) به دست آمد که با افزایش سطوح کاربرد ژئولیت به ۱۰ تن در هکتار، نیتروژن خاک (T_9) (۰/۱۷۳ درصد)، ۷۱ درصد افزایش پیدا کرد (شکل ۱). با این حال بین سطوح مختلف ژئولیت بر نیتروژن خاک تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

جدول ۶- نتیجه تجزیه واریانس غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر خاک و دانه

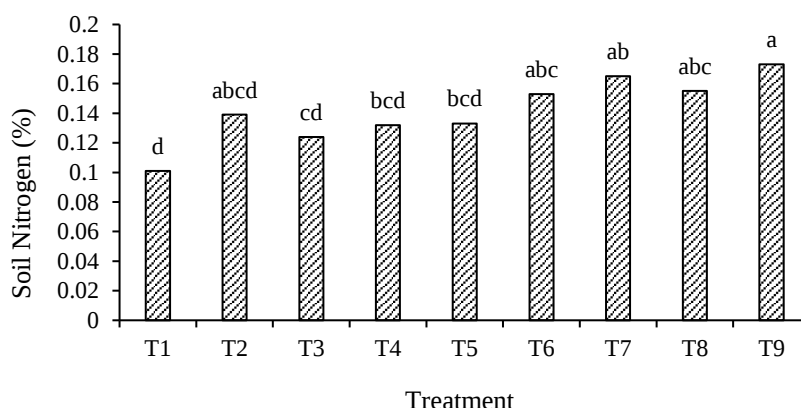
Table 6. Analysis of variance of the concentration of the nitrogen, potassium and phosphorus in soil and grain

Source of variance	df	Mean Square					
		Soil Nitrogen	Soil Potassium	Soil Phosphorus	Grain Nitrogen	grain potassium	grain phosphorus
Block	2	0.049	434.22	19.41	0.001	0.49	0.21
Treatment	8	0.14*	713.25 ^{ns}	31.49 ^{ns}	0.003*	0.16*	0.67 ^{ns}
Error	16	0.048	469.11	19.87	0.001	0.68	0.62
CV (%)		15	22.14	20.20	3.820	7.75	24.13

*Significant difference at 0.05 level **significant at 0.01 level ns: non-significant

با توجه به نتایج می توان دلیل افزایش نیتروژن خاک را به توانایی بالای ژئولیت در حفظ نیتروژن خاک و کاهش اتلاف آن نسبت داد. ژئولیت به دلیل ساختار ریزمتخلخل خود، نیتروژن را درون منافذ خود محبوس می کند. این محبوس سازی فیزیکی باعث می شود که نیتروژن برای باکتری های نیتریفیکاتور غیرقابل دسترس باقی بماند و در نتیجه، فرایند نیتریفیکاسیون با تأخیر یا کاهش مواجه شود. این امر سبب کاهش نیتریفیکاسیون، تبدیل آمونیوم به نیترات و به دنبال آن کاهش آبشویی و هدررفت نیتروژن از خاک می شود (Latifah et al., 2017). منگیستو و همکاران (Mengistu et al., 2017) گزارش دادند که ژئولیت به دلیل خصوصیات منحصر به فرد شیمیایی و ساختمانی خود، با جلوگیری از آبشویی نیتروژن، باعث افزایش محتوای نیتروژن خاک، جذب بیشتر آن توسط گیاه و افزایش کارایی سایر نهاده ها می گردد. با توجه به شکل ۱، بیشترین مقدار نیتروژن خاک به ترتیب در

تیمارهای ۲/۵ تن کود دامی در هکتار (T_2)، (۰/۱۳۹ درصد) و ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T_5)، (۰/۱۳۳ درصد) مشاهده شد که با یکدیگر تفاوت معنی دار نداشتند. به نظر می رسد کاربرد کودهای دامی با افزایش تجمع و فعالیت ریزجانداران خاک موجب تسریع و تشدید فرایند معدنی شدن، تبدیل شکل آلی به شکل های قابل جذب گیاه شده باشد و قابلیت تبادل یونی بالا و حفظ و آزادسازی تدریجی رطوبت و عناصر غذایی، نقش قابل توجهی در جلوگیری از آبشویی، هدررفت و همچنین بازیابی عناصر غذایی مانند نیتروژن در خاک دارد (Iqbal et al., 2020). همچنین مقایسه بین مقادیر مختلف ژئولیت و کود دامی بر مقدار نیتروژن خاک نشان داد تیمارهای ژئولیت تأثیر بیشتری بر صفت مذکور داشتند. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد، میزان پتاسیم و فسفر خاک در هیچ یک از سطوح آماری معنی دار نشد (جدول ۶).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان نیتروژن خاک.

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار می باشد.

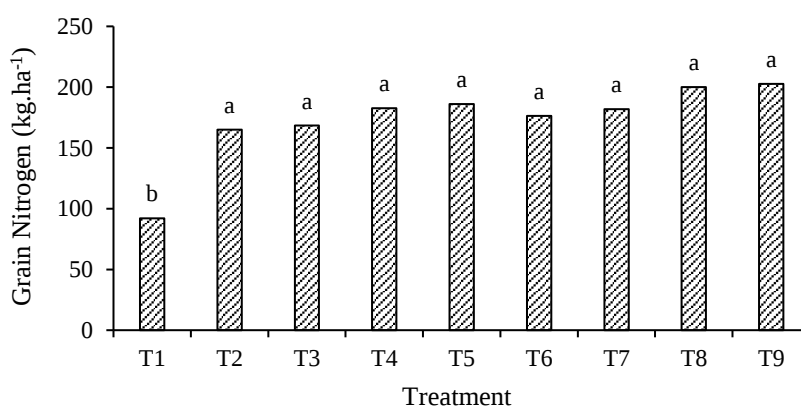
Figure 1. Mean comparisons effect of treatments on soil nitrogen.

Means with similar letters, are not significantly different according to LSD test at 5 % probability level.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک که شرایط را برای جذب بهتر نیتروژن توسط گیاه فراهم می‌کند. نتایج این پژوهش با نتایج رامش و همکاران (Ramesh *et al.*, 2015) و راوالی و همکاران (Ravali *et al.*, 2020) که در پژوهش خود اثر مثبت کاربرد زئولیت در افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه را گزارش کردند، مشابه بود. در میان تیمارهای کود دامی، تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T₅)، بیشترین مقدار نیتروژن دانه (۱۸۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که با سایر سطوح کود دامی تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۳). شهدی و همکاران (Shahdi *et al.*, 2021) بیان کردند، در بین تیمارهای کود دامی، بیشترین مقدار نیتروژن دانه برنج (۴۶/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۲۰ تن کود گاوی بدست آمد.

مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر جذب شده در دانه

با تفسیر نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تاثیر تیمارهای مختلف کودی بر مقدار نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان جذب نیتروژن دانه با میانگین ۲۰۲/۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) مشاهده شد که نسبت به سایر سطوح زئولیت و کود دامی اختلاف معنی داری نداشت و در مقایسه با تیمار شاهد (T₀) با کمترین مقدار میانگین ۹۱/۹۹ کیلوگرم در هکتار، افزایش یافت (شکل ۲). کاربرد زئولیت از دو مسیر اصلی باعث افزایش غلظت نیتروژن خاک می‌شود: نخست، با نگهداشت نیتروژن و کاهش هدررفت آن که به افزایش نیتروژن کل خاک می‌انجامد (نمودار ۱)؛ دوم، با بهبود

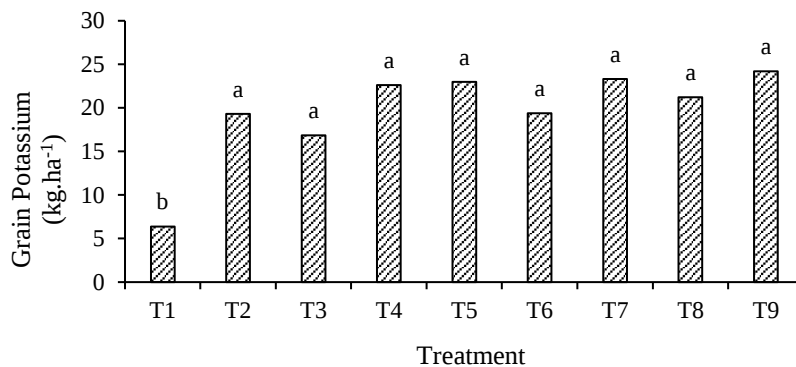


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان نیتروژن دانه

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار می باشد.

Figure 2. Mean comparisons effect of treatments on grain nitrogen

Means with similar letters, are not significantly different according to LSD test at 5 % probability level



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میزان پتاسیم دانه

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

Figure 3. Mean comparisons effect of treatments on grain potassium

Means with similar letters, are not significantly different according to LSD test at 5 % probability level

در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T₅) مشاهده شد (شکل ۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد، بیش‌ترین عملکرد دانه، وزن هزاردانه، نیتروژن خاک و دانه و پتاسیم دانه در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار زیست‌توده، ارتفاع بوته و تعداد پنجه در تیمار ۷/۵ تن زئولیت در هکتار (T₈) مشاهده شد، اما تفاوت معنی‌داری بین کاربرد ۵، ۷/۵ و ۱۰ تن زئولیت در هکتار بر صفات مورد مطالعه مشاهده نشد. بنابراین می‌توان از مقدار ۵ تن زئولیت استفاده کرد و بدین ترتیب از مصرف اضافه آن جلوگیری و صرفه جویی اقتصادی نمود. نتایج همچنین نشان داد تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار (T₅)، موثرترین تیمار در میان تیمارهای کود دامی است. از دلایل نتایج به‌دست آمده می‌توان به تأثیر زئولیت در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه، آزاد سازی تدریجی عناصر غذایی از زئولیت اشاره کرد که باعث تأمین عناصر غذایی در مراحل رشد گیاه برنج می‌شود. با توجه به معضلات ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در طی سالیان متمادی، کاربرد اصلاح‌کننده‌های نظیر زئولیت و کود دامی می‌تواند راهکار مناسبی در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و همچنین افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج باشد. پیشنهاد می‌شود تأثیر ترکیب کود دامی و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سایر گیاهان مورد بررسی قرار گیرد.

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر میزان پتاسیم جذب شده توسط دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی بر فسفر دانه معنی‌دار نشد (جدول ۶). بیش‌ترین مقدار پتاسیم دانه در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار (T₉) با میانگین ۲۴/۱۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد (T₀)، (با میانگین ۶/۳۸ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت. همچنین مقدار پتاسیم دانه بین سطوح مختلف زئولیت و کود دامی تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۳). تأثیر زئولیت بر افزایش کارایی پتاسیم قابل توجه است، به‌گونه‌ای که افزودن زئولیت در خاک، سطح پتاسیم قابل جذب را افزایش داده و در نتیجه فراهمی پتاسیم برای گیاه افزایش می‌یابد. لی و همکاران (Li et al., 2022) به بررسی اثر زئولیت بر پتاسیم در خاک شالیزار به مدت دو سال پرداختند و بیان کردند که کاربرد زئولیت با فراهم کردن پتاسیم قابل تبادل، نقش مهمی در افزایش مقدار پتاسیم خاک سطحی در طول آزمایش داشت. زئولیت سبب تمرکز بیش‌تر پتاسیم خاک در فاز محلول و تبادلی می‌شود که این نتایج می‌تواند در مدیریت کاربرد این مواد از نظر جلوگیری از اتلاف پتاسیم از خاک (آبشویی و تثبیت) بسیار مهم باشد (Jaberian et al., 2016). لطف‌ها و همکاران (Lutfha et al., 2017) بیان کردند که زئولیت سبب افزایش جذب پتاسیم در گیاه شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد در میان تیمارهای کود دامی، بیش‌ترین مقدار پتاسیم دانه (۲۲/۹۸ درصد) بود که

Reference

- Akbari, H., Modarres-Sanavy, S., & Heidarzadeh, A. (2021). Fertilizer systems deployment and zeolite application on nutrients status and nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 44, 196-212.
- Aslani, P., Davari, M., Ali Mahmoodi, 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*, 44(1), 97-119. (In Persian).
- Atman, A., Bakrie, B., & Indrasti, M. (2018). Effect of cow manure dosages as organic fertilizer on the productivity of organic rice in west Sumatra, Indonesia. *International Journal of Invironment Agriculture and Biotechnology*, 3(2), 506-511.
- Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Boojar, M. A., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Journal of Crop Production*, 109, 346-357.
- Beyki, A., & Khashei Siuki, A. (2019). Application of clinoptilolite natural zeolite and irrigation management on yield and yield components of black cumin plant (*Nigella sativa* L.). *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(1), 137-149.
- Bejbaruah, R., Sharma, R. C., & Banik, P. (2013). Split application of vermicompost to rice (*Oryza sativa* L.): its effect on productivity, yield components, and N dynamics. *Organic Agriculture*, 3(2), 123-128.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen total. In A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical Analysis* (pp. 595-624). ASA and SSSA.
- Bertola, M., Ferrarini, A., & Visioli, G. (2021). Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by-omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. *Microorganisms*, 9(7), 1400.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. In *Methods of Analysis for Soils, Plants and Water* (pp. 184-203). University of California.
- Day, P. R. (1965). Particle fractionation and particle size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*, 9, 545-567.
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations Database. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Gholam Hosseini, M., Ghalavand, A., & Jamshidi, E. (2009). The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Research and Development in Agriculture and Horticulture*, 79, 18-26. (In Persian)
- Gowda, C., Biradar Patil, N. K., Patil, B. N., Awaknavar, J. S., Ningannur, B. T., & Hunje, R. (2008). Effect of organic manures on growth, seed yield and quality of wheat. *Karnataka Journal Agriculture Science*, 21, 366-368.
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, Sodium, Potassium and Rubidium. In D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3* (pp. 551-574). ASA-SSA.
- Hosseini Abri, A., Esmail Kaveh, M., & Saleh Parhizkar, R. (2007). The Investigation of the Chemical Structure of Natural Zeolites and the Benefits of Using Them as Agricultural Soil Amendments. *Journal of Fundamental and Applied Science*, 64, 1-16. (In Persian)
- Iqbal, A., He, L., Ali, I., Ullah, S., Khan, A., Khan, A., & Jiang, L. (2020). Manure combined with chemical fertilizer increases rice productivity by improving soil health, post-anthesis biomass yield, and nitrogen metabolism. *Plus One*, 15(10), e0238934.
- Islam, M. A., Aziz, I., Shah, S. H., Muhammad, S., Latif, M., & Khalid, A. (2021). Effects of biochar and zeolite integrated with nitrogen on soil characteristics, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 53(6), 2047-2057.
- Jaberian, F., Mahmoudi, Sh., Abtahi, S. A., & Esfandiari, M. (2016). Effect of Zeolite on distribution of different soil potassium pools in Vertisols of Fars province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4), 295-308. (In Persian).

- Jami, M. Q., Ghalavand, A., Modares-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi Bidgoli, A., Baghbani-Arani, A., & Namdari, A. (2018). Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(2), 151-167. (In Persian)
- Kakar, K., Xuan, T. D., Noori, Z., Aryan, S., & Gulab, G. (2020). Effects of organic and inorganic fertilizer application on growth, yield, and grain quality of rice. *Agriculture*, 10(11), 544.
- Kazemian, H. (2000). Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II, Banff, Alberta, Canada. May 25-28.
- Kheyri, N. (2018). Effect of rate and time of application of vermicompost on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *Applied Field Crops Resources*, 30(2), 91-113. (In Persian)
- Latifah, O., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. A. (2017). Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*, 306, 152-159.
- Li, Y., Xia, G., Wu, Q., Chen, W., Lin, W., Zhang, Z., Chen, Y., Chen, T., Siddique, K., & Chi, D. (2022). Zeolite increases grain yield and potassium balance in paddy fields. *Geoderma*, 405, 115397.
- Lutfha, I., Minardi, S., Nastiti, A. H. L., & Harieni, S. (2019). The utilizing of zeolite and manures for increasing potassium availability, uptake, and yield on soybean in Alfisols. *International Conference on Food Science and Engineering*, 633(1), 012012.
- Madroomi, F., Emami, H., Khorasani, R., & Astaraie, A. R. (2015). Comparison the kinetic models to estimate the nitrogen mineralization from organic manures in different moisture condition. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(2), 159-174.
- Mahajan, G. R., Manjunath, B. L., Morajkar, S., Desai, A., Das, B., & Paramesh, V. (2021). Long-Term effect of various organic and inorganic nutrient sources on rice yield and soil quality in west coast india using suitable indexing techniques. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-15.
- Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K. W., Oldetsadik, K., Shimelis, B., & Yadav, H. (2017). The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 6, 63-77.
- Mihok, F., Macko, J., Orinak, A., Orinakova, R., Koval, K., Sisakova, K., Petrus, O., & Kostecka, Z. (2020). Controlled nitrogen release fertilizer based on zeolite clinoptilolite: Study of preparation process and release properties using molecular dynamics. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 3, 100030.
- Motesharezadeh, B., & Asgari Lajayer, H. (2013). The Effect of Different Levels of Enriched Zeolite on Dry Matter, Yield Components and Nutrient Uptake in Two Cultivars of Corn (*Zea maize*, cv.260 and 704). *Applied Soil Research*, 1(2), 61-74. (In Persian)
- Nishikawa, T., Li, K., & Inamura, T. (2014). Nitrogen uptake by the rice plant and changes in the soil chemical properties in the paddy rice field during yearly application of anaerobically-digested manure for seven years. *Plant Production Science*, 17(3), 237-244.
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2* (2nd ed., pp. 403-430). American Society of Agronomy.
- Pazoki, A. (2011). The effect of zeolite and dehydration stress on yield, yield component and harvest index of rapeseed in shahriar region. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 1(6), 1-16.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, A. N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12(1), 183-189.
- Ramesh, V., Jyothi, J. S., & Shibli, S. M. A. (2015). Effect of zeolites on soil quality, plant growth and nutrient uptake efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Root Crops*, 41(1), 25-31.
- Ravali, C. H., Rao, K. J., Anjaiah, T., & Suresh, K. (2020). Influence of zeolite on nitrogen fractions, nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of maize. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2, 297-307.
- Salehinia, S., Behdani, M. A., Sayari Zehan, M. H., & Falahi, H. R. (2023). The effect of camel manure and manganese sulfate on yield and yield components of Foxtail millet (*Setaria italic*). *Plant Productions*, 46(1), 91-103. (In Persian).

- Sha, Y., Chi, D., Chen, T., Wang, S., Zhao, Q., Li, Y., Sun, Y., Chen, J., & Laerke, P. E. (2022). Zeolite application increases grain yield and mitigates greenhouse gas emissions under alternate wetting and drying rice system. *Science of the Total Environment*, 838, 156067.
- Shahdi Kumleh, A. (2019). Organic Fertilizers Commonly Applied to Grow Healthy Organic Rice. *Journal of Land Management*, 7(2), 143-165. (In Persian).
- Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S. R., Haghighi Hasanalideh, A. R., & Karamniya, S. (2021). Effect of source and application rate of organic fertilizers on grain yield and quality of local and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(3), 278-289. (In Persian).
- Siedt, M., Schaffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Rob-Nickoll, M., & van Dongen, J. T. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Science of the Total Environment*, 751, 141607.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loepfert, R. H. (1996). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. Soil Science Society of America.
- Sun, Y., He, Z., Wu, Q., Zheng, J., Li, Y., Wang, Y., Chen, T., & Chi, D. (2020). Zeolite amendment enhances rice production, nitrogen accumulation and translocation in wetting and drying irrigation paddy field. *Agricultural Water Management*, 235, 106126.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38.