

## Evaluation of the Effect of Organic Fertilizer and Zeolite on Some Quantitative and Qualitative Traits of Dryland Barley (*Hordeum vulgare* L.)

A. Akbari<sup>1</sup>, A. Khorgami<sup>1\*</sup>, M. Rafiee<sup>2</sup>, R. Mirdrikvand<sup>3</sup>

1- Department of Agronomy, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

3- Department of Plant Genetic and Breeding, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [0070588554@iau.ir](mailto:0070588554@iau.ir))

Received: 11 May 2025  
Revised: 17 August 2025  
Accepted: 20 August 2025  
Available Online: 20 August 2025

### How to cite this article:

Akbari, A., Khorgami, A., Rafiee, M., & Mirdrikvand, R. (2026). Evaluation of the effect of organic fertilizer and zeolite on some quantitative and qualitative traits of dryland barley (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 93-113. (In Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93473.1399>

### Introduction

Cereals, as the most important food group in the world, are a rich source of nutrients including lipids, carbohydrates, proteins, minerals and vitamins and constitute a major part of human nutrition. Also, cereals contain dietary fiber and bioactive components with beneficial properties for improving health. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is one of the most important cereal crops grown worldwide and is rich in protein, carbohydrates, vitamins and minerals. This product is of interest to farmers due to its special chemical composition and health benefits. Sheep manure, as suitable alternatives to chemical fertilizers, supply plant nutrients and contribute to the sustainability of agricultural ecosystems. Zeolite is one of the most commonly minerals used to increase agricultural production. The zeolites, due to their structure and porosity, are well-suited for retaining the nutrients and gradually releasing them into the root zone. Therefore, this research was carried out with the aim evaluation of the effect of organic fertilizer and zeolite on some quantitative and qualitative traits of dryland barley.

### Materials and Methods

This experiment was carried out factorially in the form of a basic design of randomized complete blocks in 3 replications in 2021-2023 cropping years in the farm of the Faculty of Agriculture of the University Azad, located in Kamalvand section of Khorramabad city. The studied factors included four levels of sheep manure (0, 3, 6 and 9 ton ha<sup>-1</sup>) as a source of organic phosphorus and four levels of zeolite (0, 4, 8 and 12 ton ha<sup>-1</sup>). The studied farm soil is a loamy clay soil with a high clay content, which has a high ability to retain water and nutrients, but has poorer drainage than loamy soils with a lower clay content. The use of sheep manure as a rich source of organic matter helps improve water retention capacity, soil aeration, permeability, and erosion reduction, and increases soil stability. The traits studied in this experiment included measuring grain yield, number of grain per spike, number of spike m<sup>-2</sup>, 100 grains weight, harvest index, grain protein and some nutritional elements in grain and forage (N, P and K).

### Results and Discussion

The results indicated that the application of sheep manure and zeolite at moderate rates improved all measured traits. The highest 1000-grain weight (45.62 g), grain yield (2997.75 kg ha<sup>-1</sup>), and harvest index (34.28%) were obtained with the application of 3 t ha<sup>-1</sup> of sheep manure. In addition, the application of 4 t ha<sup>-1</sup>



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93473.1399>

of zeolite, compared with the highest rate ( $12 \text{ t ha}^{-1}$ ), increased 1000-grain weight, grain yield, and harvest index by 11%, 22%, and 14%, respectively. The interaction effect of sheep manure x zeolite showed that the highest number of grain per spike (21), the number of spike  $\text{m}^{-2}$  (1069), grain nitrogen (2.05%) and grain protein (11.93%) from the combination of  $3 \text{ ton ha}^{-1}$  of sheep manure and  $4 \text{ ton ha}^{-1}$  of zeolite. Also the most grain phosphorus (0.37 %) and grain potassium (1.78 %) were obtained from the combination of  $6 \text{ ton ha}^{-1}$  of sheep manure and  $4 \text{ ton ha}^{-1}$  of zeolite.

#### **Conclusion**

In general, the results of this study showed that the use of manure and zeolite can increase plant yield. Zeolite acts as a soil conditioner and manure as a source of nutrients, and the combination of the two can improve soil quality, increase nutrient absorption, and ultimately increase plant growth and yield.

#### **Acknowledgement**

We would like to express our gratitude to the respected professors and staff of the Agronomy Laboratory of the Faculty of Agriculture, Khorramabad Azad University, for their guidance and assistance throughout the project.

**Keywords:** Grain yield, Harvest index, Nitrogen, Number of grains per spike, Protein

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۹۳-۱۱۳

## ارزیابی تأثیر کود آلی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم (*Hordeum vulgare* L.)

امیر اکبری<sup>۱</sup>، علی خورگامی<sup>۱\*</sup>، مسعود رفیعی<sup>۲</sup>، رضا میردریکوند<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹

### چکیده

امروزه کشاورزی مرسوم منجر به اثرات منفی بسیاری مانند آلودگی آب‌های زیرزمینی، فرسایش خاک و کاهش کیفیت مواد غذایی شده است، بنابراین استفاده از روش‌های مدیریتی جایگزین مانند کشاورزی ارگانیک برای تولید پایدار محصولات ضروری است. کاربرد کود آلی (کود گوسفندی) و زئولیت می‌تواند با تأمین مواد مغذی و اصلاح خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، عملکرد محصول را بهبود بخشد. با توجه به اهمیت جو (*Hordeum vulgare* L.)، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کود آلی زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واقع در بخش کمالوند شهرستان خرم‌آباد انجام شد. عامل‌ها شامل کود گوسفندی (صفر، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) به عنوان منبع فسفر آلی و زئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) بود. خاک مزرعه مورد مطالعه از نوع لومی رسی با درصد بالای رس بود که توانایی بالایی در نگهداری آب و مواد مغذی دارد، اما زهکشی ضعیف‌تری نسبت به خاک‌های لومی با درصد رس کمتر دارد. استفاده از کود گوسفندی به عنوان منبع غنی از مواد آلی، به بهبود ظرفیت نگهداری آب، تهویه خاک، نفوذپذیری و کاهش فرسایش کمک کرده و به پایداری خاک می‌افزاید. نتایج نشان داد که کاربرد کود گوسفندی و زئولیت باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و عناصر غذایی دانه شد. به طوری که مصرف ۴ تن در هکتار زئولیت نسبت به تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش به ترتیب ۱۱، ۲۲ و ۱۴ درصدی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. براساس اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی، بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۱ عدد)، تعداد سنبله در مترمربع (۱۰۶۹ عدد)، نیتروژن دانه (۲/۰۵ و ۲/۰۲ درصد) و پروتئین دانه (۱۱/۹۳ و ۱۱/۸۳ درصد) از ترکیب ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و ۴ تن در هکتار زئولیت به دست آمد. همچنین بیشترین غلظت فسفر دانه (۰/۳۷ درصد) و پتاسیم دانه (۱/۷۸ درصد) به تیمار ترکیب ۶ تن در هکتار کود گوسفندی و ۴ تن در هکتار زئولیت اختصاص یافت. به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کود دامی و زئولیت می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاهان شود. زئولیت به عنوان یک اصلاح کننده خاک و کود دامی به عنوان منبع مواد مغذی عمل می‌کنند و ترکیب این دو می‌تواند به بهبود کیفیت خاک، افزایش جذب مواد مغذی و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاهان منجر شود.

**واژه‌های کلیدی:** پروتئین، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و نیتروژن، عملکرد دانه

### مقدمه

افزایش فشارهای مرتبط با سلامت و محیط زیست نیاز به بازنگری در دستورالعمل‌های غذایی و تکیه بیشتر بر غذاهای گیاهی را ایجاد کرده است. غلات به‌ویژه جو (*Hordeum vulgare* L.)

به عنوان منابع اصلی پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری شناخته می‌شوند (Marinangeli et al., 2024). (جو در مقایسه با سایر غلات، تحمل بیشتری نسبت به خشکی و شرایط نامساعد آب‌وهوایی دارد. به همین دلیل، در مناطقی که امکان کشت سایر غلات وجود ندارد، جو به عنوان یک محصول جایگزین کشت می‌شود. مقاومت جو در برابر تنش‌های محدودکننده تولید و کاربرد گسترده دانه آن در تغذیه دام از عوامل مهم کشت گسترده این گیاه زراعی در کشور هستند (Schoppach et al., 2017). اتحادیه اروپا با تولید ۴۷/۸۶ میلیون تن جو در سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴، بزرگ‌ترین تولیدکننده جو در جهان است و ۳۴ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده است. روسیه و استرالیا در رتبه‌های بعدی قرار دارند و ایران با تولید

۱- گروه زراعت، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران  
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران  
۳- گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(\*) نویسنده مسئول: [0070588554@iaau.ir](mailto:0070588554@iaau.ir) (Email: 0070588554@iaau.ir)

سه میلیون تن در جایگاه چهارم است (FAO, 2023).

کشاورزی متعارف، اگرچه در تولید انبوه مؤثر است، اما به دلیل استفاده بیش از حد از منابع و آلودگی، پایداری محیط زیست را تهدید می‌کند. کشاورزی پایدار، روش‌هایی را ترویج می‌کند که با محیط زیست سازگار، و از نظر اقتصادی و اجتماعی قابل قبول هستند. این حوزه شامل فناوری‌های پیشرفته مانند کشاورزی دقیق و محصولات اصلاح شده ژنتیکی است. همچنین تأکید بر روش‌های آگرواکولوژیکی مانند تناوب زراعی و کشاورزی ارگانیک برای افزایش حاصلخیزی خاک و تنوع زیستی اهمیت دارد. کشاورزی پایدار همچنین بر استفاده از منابع محلی و دانش سنتی برای حفظ تعادل بوم‌شناختی و تضمین تولید مواد غذایی تأکید دارد (Saikanth et al., 2023). خاک، اساس کشاورزی است و استفاده از کودهای دامی می‌تواند با بهبود محتوای رطوبت و ماده آلی خاک به حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک کمک نمایند (Yang et al., 2021). کودهای دامی به عنوان منبع غنی فسفر آلی شناخته می‌شوند. فسفر به عنوان یک عنصر کلیدی در زراعت شناخته می‌شود. کمبود فسفر، عملکرد محصول را به ویژه در مراحل اولیه رشد محدود می‌کند. این عنصر، نقش کلیدی در سازوکارهای فیزیولوژیکی مانند تشکیل دانه و میوه، تنفس، فتوسنتز، ذخیره و انتقال انرژی ایفا می‌کند. فسفر نامحلول در خاک اغلب منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود، اما افزایش جذب فسفر در گیاهان می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش آلودگی شود (Fathi & Afra, 2024). کود دامی و زئولیت هر دو بر تبادل کاتیونی و تخلخل خاک تأثیر مثبت دارند. کود دامی با افزایش مواد آلی، ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد و به تبادل کاتیونی کمک می‌کند. زئولیت نیز با ساختار متخلخل خود، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش داده و به جذب و نگهداری آب و مواد مغذی کمک می‌کند. ترکیب کود دامی و زئولیت می‌تواند تأثیر مثبت بیشتری بر خاک داشته باشد. زئولیت می‌تواند به عنوان یک حامل برای کود دامی عمل کند و به جذب و آزادسازی تدریجی مواد مغذی کمک کند. همچنین زئولیت می‌تواند به تثبیت عناصر غذایی در خاک کمک کند و از هدررفت آن‌ها جلوگیری کند (Zokaee Khosroshahi et al., 2023). بررسی تأثیر کودهای آلی و معدنی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان داد که کاربرد کودهای آلی به ویژه کود گوسفندی منجر به افزایش عملکرد و صفات رویشی در گیاه جو نسبت به کودهای شیمیایی گردید، زیرا نسبت به کودهای شیمیایی که بخشی از کشاورزی سنتی هستند سریع‌تر جذب و استفاده می‌شوند (Özkan, 2024). محققان در طی بررسی اثر کود گوسفندی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) عنوان نمودند که بیشترین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در تیمار کود گوسفندی به میزان ۱۳/۴ و ۱۲ درصد بیشتر از تعداد دانه در سنبله و

وزن هزار دانه در شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). محققان با بررسی تأثیرات کودهای آلی و بر روی ذرت (*Zea mays* L.) و تأثیرات باقی‌مانده آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پرداختند. در این تحقیق از کودهای آلی شامل کود گوسفندی، کود مرغ و کود دامی و همچنین از کودهای غیرآلی مانند اوره و دی‌آمونوم فسفات استفاده شده است. نتایج نشان داد که رشد و عملکرد ذرت به طور قابل توجهی با استفاده از کودهای آلی و غیرآلی بهبود یافته و همچنین محتوای کربن آلی و نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک افزایش یافته است (Tak et al., 2023).

محققان و کشاورزان همواره به دنبال راه‌های جدیدی برای افزایش تولید محصول و در عین حال کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی روش‌های سنتی کشاورزی هستند. زئولیت نیز می‌تواند به عنوان یک ماده معدنی طبیعی و با کیفیت بالا در بهبود زراعت گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Singh et al., 2024). ساختار متخلخل و کریستالی زئولیت‌ها و خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، به گسترش کاربردهای عملی در فرآیندهای مختلف از جمله کشاورزی کمک شایان توجهی کرده است (Kordala & Wyszowski, 2024). زئولیت، غنی از مواد مغذی گیاهی است و محتوای خود را به مرور زمان در خاک آزاد می‌کند. حتی زمانی که مستقیماً با خاک مخلوط می‌شود، بر استفاده از نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک تأثیر می‌گذارد. همچنین آلاینده‌های فلزات سنگین را در خاک جمع‌آوری می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که زئولیت مخلوط‌شده با خاک در کاهش اثرات منفی شوری و تنش خشکی بر گیاهان مؤثر است. زئولیت‌ها، گروهی از مواد معدنی با خواص خاص، بیش از ۲۵۰ سال است که شناخته شده‌اند. توسعه روش‌های سنتز هیدروترمال و کاربردهای صنعتی آن‌ها در مقیاس بزرگ، این مواد را به یکی از مهم‌ترین مواد قرن بیستم تبدیل کرده است (Aslan & Arsalan, 2024). محققان در بررسی تأثیر کاربرد کود گوسفندی و زئولیت بر میزان جذب عناصر غذایی ارقام لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) بیان نمودند که افزایش کاربرد زئولیت منجر به کاهش محتوای پروتئین در بافت‌های هوایی شده، درحالی‌که عملکرد دانه را به میزان ۲۱۹۹ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. همچنین کاربرد کود گوسفندی و زئولیت توانست میزان سبزیگی و غلظت نیتروژن را در بافت‌های هوایی بهبود بخشد (Kolaei et al., 2024). نتایج ارزیابی عملکرد دانه و برخی از خصوصیات رشدی تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack L.) تحت تأثیر کود دامی ترکیب‌شده با زئولیت نشان داد که این تیمارها موجب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و شاخص برداشت گردید (Makvandi et al., 2021). اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2021) در پژوهشی که در گندم انجام دادند، گزارش کردند که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر اجزای عملکرد گندم نشان

برای هر سال با توجه به تجزیه خاک و نوع کود مصرفی با استفاده از رابطه‌های مربوطه به دست آمد. کود آلی در هنگام تهیه بستر با توجه به تیمارها در خاک مصرف شد. نیاز گیاه جو به فسفر به‌منظور دستیابی به یک عملکرد مطلوب در نظر گرفته شد. مقدار کود دامی مورد نیاز براساس مقدار فسفر در کود دامی و خاک تعیین شد که بر این اساس مقدار فسفر تیمارهای ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار به‌ترتیب برابر با ۲۶، ۳۲ و ۳۸ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به نتایج آزمون خاک و کود آلی، نیازی به کاربرد کودهای نیتروژن و پتاس در آزمایش نبود.

عامل‌های مورد مطالعه شامل چهار سطح کود گوسفندی (صفر، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) و چهار سطح زئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) بود. قبل از کاشت، عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح انجام شد. پس از ریسمان کشتی و گونیا کردن زمین، کاشت براساس نقشه آزمایش و تیمارها در کرت‌های آزمایشی صورت گرفت. کود آلی با توجه به تیمارها با خاک سطحی هر کرت مخلوط شد. برای مخلوط کردن زئولیت با خاک قبل از کشت جو تا عمق ۲۰ سانتی‌متر، ابتدا زئولیت را به میزان توصیه‌شده (معمولاً ۵ تا ۲۰ درصد وزنی خاک) با خاک مخلوط شد. سپس این مخلوط را به طور یکنواخت در سطح خاک پخش کرده و با استفاده از ابزارهای مناسب مثل بیل، تا عمق ۲۰ سانتی متری خاک با یکدیگر ترکیب گردید. این کار باعث بهبود زهکشی، هوادهی و جذب بهتر مواد مغذی توسط ریشه‌های جو شد. بذور جو با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۲۰ آذر کشت گردید. این کشت در سال دوم نیز در همین تاریخ کاشت تکرار شد و برای جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله کرت‌ها ۰/۵ متر و بلوک‌ها سه متر تعیین گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و بدون استفاده از علف کش انجام گردید و در طول دوره رشد گیاه، بیماری خاصی مشاهده نشد. برداشت محصول در دو سال آزمایش در اواسط اردیبهشت ماه به‌صورت دستی انجام گردید. مساحت برداشت هر کرت حدود چهار مترمربع بود.

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه) و عناصر موجود در دانه و علوفه بود. برای تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی (رطوبت وزنی ۱۴ درصد) (Yari et al., 2019)، کل کرت ۱۲ مترمربع بود که برداشت در مساحتی معادل چهار مترمربع با احتساب ۲۵ سانتی‌متر حاشیه از طرفین انجام شد. پس از خرمن‌کوبی، دانه از کاه جدا و توزین گردید تا عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه شود. شاخص برداشت به عنوان درصدی از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. برای سنجش اجزای عملکرد، نمونه‌برداری‌ها از خطوط میانی انجام و شمارش دستی انجام شد.

داد، به‌طوری‌که موجب افزایش ۳۳ درصدی تعداد سنبله، ۵۰ درصدی تعداد دانه در سنبله و ۱۷ درصدی وزن هزار دانه شد. در آزمایشی دیگر گزارش شده است که زئولیت همراه با کودهای دامی اثر مثبت و معنی‌داری بر جذب عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی گندم داشت (Khalik et al., 2024).

در سال‌های اخیر، کاربرد مواد معدنی طبیعی به‌منظور بهبود باروری، اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز می‌شود، توصیه شده است که زئولیت یکی از این مواد می‌باشد. استفاده از زئولیت در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در گیاهان، به دلیل خاصیت نگهداری آب و بهبود ساختار خاک، اهمیت دارد. زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، به گیاهان کمک می‌کند تا در شرایط کم‌آبی، مقاومت بیشتری از خود نشان دهند و از آسیب‌های ناشی از خشکی در امان بمانند (Mottaghi et al., 2019). از این‌رو اضافه کردن زئولیت به کودها به‌طور معنی‌داری هزینه‌های ناشی از مصرف کود و آب را در زمین‌های کشاورزی کاهش می‌دهد. لذا پژوهش حاضر با هدف پاسخگویی به سؤالات زیر طراحی و اجرا شد: اول اینکه آیا تلفیق کودهای آلی و زئولیت در مقایسه با مصرف جداگانه این کودها موجب افزایش بیشتری در عملکرد و اجزای عملکرد جو می‌شود؟ دومین سؤال اینکه آیا کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک جو دارد؟ و سؤال آخر اینکه اثرات متقابل مصرف کودهای دامی و کاربرد زئولیت در جو تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی جو دارد؟

## مواد و روش‌ها

این مطالعه به ارزیابی تأثیر کود آلی موجود در کود گوسفندی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم پرداخت. آزمایش طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واقع در بخش کمالوند شهرستان خرم‌آباد با موقعیت جغرافیایی (33° 20' N, 48° 18' E) و ارتفاع ۱۱۷۱ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات میزان دما، بارندگی و ساعات آفتابی در بازه زمانی ابتدای مهر تا پایان خرداد هر دو سال زراعی این منطقه جغرافیایی در جدول ۱ ارائه شده است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. قبل از شروع آزمایش، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از نقاط مختلف مزرعه جمع‌آوری و سپس به آزمایشگاه خاک ارسال شد. نتایج مربوط به آنالیز خاک و کودهای مصرفی در جداول پیوست ۲، ۳ و ۴ آمده است. میزان کود مصرفی

جدول ۱- داده‌های هواشناسی شامل حداکثر دما، حداقل دما و بارندگی طی دوره اجرای آزمایش

Table 1- Metrological data including maximum, minimum temperature and precipitation during the experimental period

| سال ۱۴۰۰<br>Year 2021 |                                        |                                       |                               | سال ۱۴۰۱<br>Year 2022 |                                        |                                       |                               |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| ماه<br>Month          | حداکثر دما<br>Maximum temperature (°C) | حداقل دما<br>Minimum temperature (°C) | بارندگی<br>Precipitation (mm) | ماه<br>Month          | حداکثر دما<br>Maximum temperature (°C) | حداقل دما<br>Minimum temperature (°C) | بارندگی<br>Precipitation (mm) |
| اکتبر<br>October      | 31.3                                   | 12                                    | 9.4                           | اکتبر<br>October      | 19.8                                   | 5.8                                   | 52.4                          |
| نوامبر<br>November    | 23.6                                   | 6                                     | 11.6                          | نوامبر<br>November    | 13.4                                   | 2                                     | 105.3                         |
| دسامبر<br>December    | 14.4                                   | 3.6                                   | 15.3                          | دسامبر<br>December    | 12.5                                   | 0.2                                   | 87.2                          |
| ژانویه<br>January     | 14.3                                   | -1                                    | 4.9                           | ژانویه<br>January     | 11.1                                   | -0.5                                  | 51.4                          |
| فوریه<br>February     | 15.7                                   | 0                                     | 31.7                          | فوریه<br>February     | 18.3                                   | 4.9                                   | 120.2                         |
| مارس<br>March         | 17.2                                   | 2.9                                   | 27.8                          | مارس<br>March         | 19.7                                   | 6.4                                   | 40.0                          |
| آوریل<br>April        | 24.9                                   | 6.9                                   | 6.52                          | آوریل<br>April        | 27.2                                   | 10                                    | 12.2                          |
| می<br>May             | 32.1                                   | 12.1                                  | 2                             | می<br>May             | 36.6                                   | 15.5                                  | 10.11                         |
| ژوئن<br>June          | 37.7                                   | 15.2                                  | 2.1                           | ژوئن<br>June          | 39.3                                   | 19.4                                  | 0                             |

جدول ۲- آنالیز خاک مزرعه

Table 2- Farm soil analysis

| سال<br>Year | بافت<br>Texture       | درجه<br>اسیدی<br>pH | هدایت<br>الکتریکی<br>EC<br>(dS m <sup>-1</sup> ) | مولیبدن<br>Mo<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | روی<br>Zn<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | منگنز<br>Mn<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | آهن<br>Fe<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | کربن<br>C<br>(%) | نیتروژن<br>N<br>(%) | فسفر<br>P<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | پتاسیم<br>K<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 2021        | رسی شنی<br>Sandy-clay | 7.91                | 0.71                                             | 0.71                                    | 0.82                                | 2.4                                   | 5.71                                | 1.00             | 1.15                | 7.11                                | 329                                   |
| 2022        | رسی شنی<br>Sandy-clay | 7.63                | 0.52                                             | 0.74                                    | 0.80                                | 2.7                                   | 5.87                                | 1.04             | 1.27                | 8.12                                | 331                                   |

موج ۴۵۰ نانومتر، میزان عنصر پتاسیم (با محلول کلروسزیم ۰/۸۷ گرم در لیتر) در عصاره استخراج‌شده با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (model: PFP7, UK) اندازه‌گیری شدند (Waling et al., 1989). پس از آزمون بارتلت و اطمینان از متجانس بودن واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب برای صفات اندازه‌گیری‌شده انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 صورت گرفت و رسم شکل‌ها به وسیله نرم‌افزار Excell انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، پس از اتمام دوره آزمایش، اندام‌های هوایی (برگ و ساقه) و دانه‌ها جدا شدند و پس از شست‌وشوی هر کدام از این بخش‌ها، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با آسیاب برقی به صورت پودر گردید. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، عصاره‌گیری با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر انجام شد. از این عصاره برای اندازه‌گیری عناصر غذایی استفاده گردید. میزان عناصر نیتروژن به صورت تیتراسیون با دستگاه تمام اتوماتیک کج‌لدال، فسفر با معرف وانادات مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (model: BT600 Plus, Canada) در طول

جدول ۳- آنالیز کود مزرعه  
Table 3- Farm fertilizer analysis

| کود گوسفندی<br>Sheep<br>fertilizer | درجه<br>اسیدی<br>pH | هدایت<br>الکتریکی<br>EC<br>(dS m <sup>-1</sup> ) | رطوبت<br>Moisture<br>(%) | منیزیم<br>Mg<br>(%) | سدیم<br>Na<br>(%) | کلسیم<br>Ca<br>(%) | گوگرد<br>S<br>(%) | کادمیوم<br>Cd<br>(%) | روی<br>Zn<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | منگنز<br>Mn<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | آهن<br>Fe<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | کربن<br>C<br>(%) | نیتروژن<br>N<br>(%) | فسفر<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(%) | مواد آلی<br>Organic<br>Matter<br>(%) | مواد خنثی شده<br>Total<br>neutralizing<br>value<br>(%) | پتاسیم<br>K <sub>2</sub> O<br>(%) |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| سال اول<br>First year              | 8.66                | 2.77                                             | 6.11                     | 0.49                | 0.11              | 1.81               | 0.48              | 1.67                 | 135.68                              | 267.03                                | 1124.3                              | 2.11             | 1.90                | 0.68                                         | 67.34                                | 5.5                                                    | 1.89                              |
| سال دوم<br>Second year             | 7.60                | 0.77                                             | 3.18                     | 0.27                | 0.19              | 1.32               | 0.11              | 1.96                 | 62.51                               | 254.21                                | 911.27                              | 3.24             | 1.98                | 0.52                                         | 68.31                                | 4.5                                                    | 1.02                              |

جدول ۴- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی زئولیت  
Table 4- Results of physicochemical analysis of zeolite

| نمونه<br>Sample                                                | اکسید کلسیم<br>CaO (%) | اکسید سدیم<br>Na <sub>2</sub> O (%) | اکسید پتاسیم<br>K <sub>2</sub> O (%) | آلومینیوم<br>اکسید<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | سیلیسیم<br>دی اکسید<br>SiO <sub>2</sub> (%) | کلرید<br>Cl (%) | گوگرد<br>تری اکسید<br>SO <sub>3</sub> (%) | اکسید آهن<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| میانگین زئولیت<br>استفاده شده<br>The amount of<br>zeolite used | 0.84                   | 3.85                                | 4.29                                 | 10.87                                                    | 68.04                                       | 0.81            | 0.63                                      | 0.74                                            |

ظرفیت تبادل کاتیون = ۲۰۰ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم  
C.E.C = 200 meq 100 g<sup>-1</sup>

## نتایج و بحث

### اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال نشان داد که تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع تحت اثر اصلی کود گوسفندی، زئولیت و اثر متقابل کودهای زئولیت × گوسفندی و وزن هزار دانه تحت اثر اصلی کود زئولیت و کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد معنی دار بودند (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی بر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع نشان داد که به کارگیری کودهای زئولیت و گوسفندی می توانند موجب افزایش این صفات شوند، به طوری که بیشترین تعداد دانه در سنبله با میانگین ۲۱ از تیمار کاربرد ۴ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و بیشترین تعداد سنبله در مترمربع با میانگین های ۱۰۶۹ و ۱۰۴۶ از تیمار کاربرد ۴ تن در هکتار کود زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد که با اکثر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری نداشتند و نسبت به کمترین میزان آن ها در تیمار کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی به میزان ۲۵ درصد تعداد دانه در سنبله (۱۵/۸۳) و ۷۴ درصد تعداد سنبله در مترمربع (۲۷۲) را افزایش دادند (جدول ۶).

مقایسه میانگین تغییرات وزن هزار دانه در سطوح مختلف کود زئولیت نشان داد که تیمار ۴ تن در هکتار با میانگین ۴۵/۱۲ گرم، بیشترین میزان وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد که با تیمار ۸ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار (۴۰/۳۲ گرم) به میزان ۱۱ درصد وزن هزار دانه را افزایش داد. مقایسه میانگین کودهای گوسفندی نیز نشان داد که بیشترین میزان وزن هزار دانه با میانگین های ۴۵/۶۲ و ۴۴/۴۱ گرم به ترتیب در تیمارهای ۳ تن در

هکتار کود گوسفندی و عدم کاربرد کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمار ۶ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت. در حالی که تیمار ۹ تن در هکتار با میانگین ۳۸/۴۳ گرم از کمترین میزان وزن هزار دانه برخوردار بود (جدول ۷).

کودهای آلی با افزایش محتوای عناصر غذایی، به رشد بهتر برگ ها و سطوح سبز گیاه کمک کرده و با بهبود فتوسنتز، تولید مواد پرورده را افزایش می دهند (Dubey et al., 2022) که در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می یابد. در این پژوهش مشخص شد که کودهای گوسفندی حاوی سطوح بالایی از عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، روی، مس و آهن هستند. این عناصر غذایی به تدریج به خاک آزاد شده و باعث افزایش اجزای عملکرد جو می شوند. افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سیستم کاربرد کود دامی (گوسفندی) به دلیل نقش مهم عنصر فسفر (Almeida et al., 2019) در پر شدن دانه و افزایش وزن آن است و از آنجایی که دسترسی بیشتر به فسفر، که از ویژگی های مثبت کودهای دامی به شمار می رود، ممکن است بر وزن هزار دانه و تعداد دانه و سنبله تأثیرگذار باشد. همچنین کاربرد مقادیر مناسب کودهای دامی، مانند کود گوسفندی، با افزایش فعالیت میکروبی در خاک، فرآیند معدنی شدن نیتروژن را تسریع می کنند. این نیتروژن به فرم های قابل جذب نترات و آمونیوم تبدیل شده و به تدریج در اختیار گیاه قرار می گیرد (Shahdi Komleh et al., 2021) که این امر به افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه کمک می کند. محققان در طی بررسی اثر کود گوسفندی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم عنوان نمودند که بیشترین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در تیمار کود گوسفندی به میزان ۱۳/۴ و ۱۲ درصد بیشتر از تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). در آزمایشی مشابه، افزایش اجزای عملکرد جو را با افزایش مصرف کود گوسفندی گزارش شد (Lal et al., 2020).

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کود گوسفندی و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد جو دیم  
Table 5- Combined analysis of variance (mean of squares) of sheep manure and zeolite on rainfed barley yield and yield components

| منابع تغییر<br>S.O.V                        | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean of squares                   |                                                                 |                                              |                               |                                           |                                    |
|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|
|                                             |                     | تعداد دانه در سنبله<br>Number of grain<br>per spike | تعداد سنبله در<br>مترمربع<br>Number of<br>spike m <sup>-2</sup> | وزن هزار<br>دانه<br>100-<br>grains<br>weight | عملکرد دانه<br>Grain<br>yield | عملکرد<br>بیولوژیک<br>Biological<br>yield | شاخص<br>برداشت<br>Harvest<br>index |
| سال<br>Year (Y)                             | 1                   | 1.98 <sup>ns</sup>                                  | 41800.10 <sup>ns</sup>                                          | 34.49 <sup>ns</sup>                          | 2418873.77 <sup>**</sup>      | 18756535.72 <sup>ns</sup>                 | 4.29 <sup>ns</sup>                 |
| تکرار در سال<br>(R/Y)                       | 4                   | 30.87                                               | 15559.14                                                        | 88.13                                        | 509076.55                     | 1479818.67                                | 106.74                             |
| زئولیت<br>Zeolite (Z)                       | 3                   | 13.94 <sup>*</sup>                                  | 61948.74 <sup>**</sup>                                          | 111.65 <sup>**</sup>                         | 627791.95 <sup>**</sup>       | 10023913.97 <sup>**</sup>                 | 41.12 <sup>*</sup>                 |
| کود گوسفندی<br>Sheep manure<br>(SM)         | 3                   | 7.39 <sup>**</sup>                                  | 68411.94 <sup>*</sup>                                           | 255.06 <sup>**</sup>                         | 2538952.69 <sup>**</sup>      | 15338335.92 <sup>**</sup>                 | 44.14 <sup>*</sup>                 |
| زئولیت × کود<br>گوسفندی<br>Z × SM           | 9                   | 13.16 <sup>**</sup>                                 | 56592.94 <sup>*</sup>                                           | 58.59 <sup>ns</sup>                          | 491624.95 <sup>ns</sup>       | 3521905.99 <sup>ns</sup>                  | 8.65 <sup>ns</sup>                 |
| سال × زئولیت<br>Y × Z                       | 3                   | 0.13 <sup>ns</sup>                                  | 104940.02 <sup>ns</sup>                                         | 49.26 <sup>ns</sup>                          | 53058.14 <sup>ns</sup>        | 320.31 <sup>ns</sup>                      | 13.66 <sup>ns</sup>                |
| سال × کود<br>گوسفندی<br>Y × SM              | 15                  | 0.87 <sup>ns</sup>                                  | 20267.77 <sup>ns</sup>                                          | 55.15 <sup>ns</sup>                          | 30098.14 <sup>ns</sup>        | 844623.95 <sup>ns</sup>                   | 8.09 <sup>ns</sup>                 |
| سال × زئولیت × کود<br>گوسفندی<br>Y × Z × SM | 9                   | 2.18 <sup>ns</sup>                                  | 6210.07 <sup>ns</sup>                                           | 26.01 <sup>ns</sup>                          | 91220.17 <sup>ns</sup>        | 1947.36 <sup>ns</sup>                     | 3.74 <sup>ns</sup>                 |
| خطای آزمایش<br>Error                        | 60                  | 5.29                                                | 26953.03                                                        | 65.64                                        | 349443.58                     | 2513475.74                                | 15.51                              |
| C.V ضریب تغییرات<br>(%)                     | -                   | 12.4                                                | 18.1                                                            | 19.2                                         | 22.4                          | 20.1                                      | 11.8                               |

<sup>ns</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.  
<sup>ns</sup>, \* and \*\*: are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively

سنبله و ۳۲ درصدی وزن هزار دانه شد (Mahmoud et al., 2021) که با پژوهش‌های انجام‌شده توسط عید و همکاران (Eid et al., 2022) در جو مطابقت داشت. نتایج مشتقی و همکاران (Moshatati et al., 2019) در استفاده از کود دامی و مواد زئولیت بر گیاه گندم نشان داد که مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت اثر معنی‌دار و افزایشی بر تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه داشت.

زئولیت با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه خاک، از هدررفت عناصر به‌ویژه نیتروژن جلوگیری می‌کند و فراهمی طولانی‌مدت نیتروژن، اثر آن را تقویت می‌کند (Cataldo et al., 2021). کود دامی و زئولیت با افزایش فراهمی نیتروژن، احتمالاً باعث افزایش تعداد سنبله و در نتیجه افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود. در پژوهشی که در جو انجام شد، نتایج نشان داد که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر تعداد سنبله و وزن هزار دانه نشان داد، به‌طوری‌که موجب افزایش ۲۵ درصدی تعداد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی بر اجزای عملکرد و پروتئین دانه جو

Table 6- Comparison the mean interaction effects zeolite × sheep manure on rainfed barley yield components and grain protein

| زئولیت<br>Zeolite (ton ha <sup>-1</sup> ) | کود گوسفندی<br>Sheep manure (ton ha <sup>-1</sup> ) | تعداد دانه در سنبله<br>Number of grain per Spike | تعداد سنبله در مترمربع<br>Number of spike m <sup>-2</sup> | پروتئین دانه<br>Grain protein (%) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                           |                                                     | –                                                |                                                           |                                   |
| 0                                         | 0                                                   | 16.50 <sup>cd*</sup>                             | 931 <sup>abc</sup>                                        | 10.62 <sup>cd</sup>               |
|                                           | 3                                                   | 19.33 <sup>ab</sup>                              | 967 <sup>abc</sup>                                        | 11.58 <sup>ab</sup>               |
|                                           | 6                                                   | 19.50 <sup>ab</sup>                              | 964 <sup>abc</sup>                                        | 10.40 <sup>de</sup>               |
|                                           | 9                                                   | 19.66 <sup>ab</sup>                              | 1007 <sup>ab</sup>                                        | 11.14 <sup>abcd</sup>             |
| 4                                         | 0                                                   | 17.82 <sup>bcd</sup>                             | 799 <sup>cd</sup>                                         | 10.22 <sup>def</sup>              |
|                                           | 3                                                   | 21 <sup>a</sup>                                  | 1069 <sup>a</sup>                                         | 10.58 <sup>bcd</sup>              |
|                                           | 6                                                   | 18.33 <sup>abcd</sup>                            | 810 <sup>bcd</sup>                                        | 11.83 <sup>a</sup>                |
|                                           | 9                                                   | 17.66 <sup>bcd</sup>                             | 972 <sup>abc</sup>                                        | 9.53 <sup>de</sup>                |
| 8                                         | 0                                                   | 19.83 <sup>ab</sup>                              | 922 <sup>abcd</sup>                                       | 11.06 <sup>abcd</sup>             |
|                                           | 3                                                   | 20 <sup>ab</sup>                                 | 844 <sup>bcd</sup>                                        | 11.93 <sup>a</sup>                |
|                                           | 6                                                   | 19 <sup>abc</sup>                                | 941.83 <sup>abc</sup>                                     | 9.57 <sup>ef</sup>                |
|                                           | 9                                                   | 17.50 <sup>bcd</sup>                             | 881 <sup>abcd</sup>                                       | 10.58 <sup>d</sup>                |
| 12                                        | 0                                                   | 16.51 <sup>cd</sup>                              | 780 <sup>cd</sup>                                         | 9.29 <sup>e</sup>                 |
|                                           | 3                                                   | 19 <sup>abc</sup>                                | 1046 <sup>a</sup>                                         | 11.08 <sup>abcd</sup>             |
|                                           | 6                                                   | 18 <sup>bcd</sup>                                | 822 <sup>bcd</sup>                                        | 11.55 <sup>abc</sup>              |
|                                           | 9                                                   | 15.83 <sup>d</sup>                               | 272 <sup>d</sup>                                          | 9.60 <sup>def</sup>               |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

\* Means in each coulums with the same letter in each column are not significantly different at the five percent probability level with LSD.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات زئولیت و کود گوسفندی بر وزن هزار دانه، عملکرد و شاخص برداشت جو دیم

Table 7- Comparison the mean effects zeolite and sheep manure on rainfed barley 100-seeds weight, yield and harvest index

| زئولیت<br>Zeolite (ton ha <sup>-1</sup> )           | وزن هزار دانه<br>100-grains weight (g) | عملکرد دانه<br>Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | عملکرد بیولوژیک<br>Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | شاخص برداشت<br>Harvest index (%) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 0                                                   | 41.47 <sup>ab*</sup>                   | 2693.33 <sup>ab</sup>                             | 7888.79 <sup>ab</sup>                                      | 34.62 <sup>ab</sup>              |
| 4                                                   | 45.12 <sup>a</sup>                     | 2838.17 <sup>a</sup>                              | 7947.75 <sup>ab</sup>                                      | 35.64 <sup>a</sup>               |
| 8                                                   | 43.69 <sup>ab</sup>                    | 2507.42 <sup>bc</sup>                             | 8117.79 <sup>a</sup>                                       | 31.75 <sup>ab</sup>              |
| 12                                                  | 40.32 <sup>b</sup>                     | 2202.67 <sup>c</sup>                              | 7135.92 <sup>b</sup>                                       | 30.62 <sup>b</sup>               |
| کود گوسفندی<br>Sheep manure (ton ha <sup>-1</sup> ) |                                        |                                                   |                                                            |                                  |
| 0                                                   | 44.41 <sup>a</sup>                     | 2420.38 <sup>bc</sup>                             | 7376.01 <sup>c</sup>                                       | 32.87 <sup>ab</sup>              |
| 3                                                   | 45.62 <sup>a</sup>                     | 2997.75 <sup>a</sup>                              | 8728.29 <sup>a</sup>                                       | 34.28 <sup>a</sup>               |
| 6                                                   | 41.82 <sup>ab</sup>                    | 2593.92 <sup>b</sup>                              | 8077.02 <sup>b</sup>                                       | 31.16 <sup>b</sup>               |
| 9                                                   | 38.43 <sup>b</sup>                     | 2329.54 <sup>c</sup>                              | 7108.92 <sup>c</sup>                                       | 32.79 <sup>b</sup>               |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

\* Means in each coulums with the same letter in each column are not significantly different at the five percent probability level with LSD.

## عملکرد دانه

تجزیه و تحلیل عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اعمال شده، تأثیر معنی‌دار سال، کودهای زئولیت و گوسفندی را در سطح احتمال خطای یک درصد نشان داد (جدول ۵). تغییرات عملکرد دانه در دو سال زراعی نشان داد که سال دوم نسبت به سال اول به میزان ۱۹ درصد از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود، زیرا میزان بارندگی در سال دوم بیشتری از سال اول بود (جدول ۸). براساس نتایج مقایسه میانگین کود زئولیت، بیشترین میزان عملکرد دانه با میانگین

۲۸۳۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت به دست آمد که با تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت (۲۲۰۲/۰۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه را ۲۲ درصد افزایش داد. تغییرات عملکرد دانه در سطوح مختلف کود گوسفندی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه با میانگین‌های ۲۹۹۷/۷۵ و ۲۳۲۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از تیمارهای ۳ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد (جدول ۷).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد دانه جو دیم

Table 8- Comparison the mean effects Year on rainfed barley grain yield

| سال<br>Year | عملکرد دانه<br>Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---------------------------------------------------|
| ۱۴۰۰        | 2276.50 <sup>b*</sup>                             |
| 2021        |                                                   |
| ۱۴۰۱        | 2794.11 <sup>a</sup>                              |
| 2022        |                                                   |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

\* Means in each coulms with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

مترمربع با تعداد دانه وجود داشت ( $r = 0.84^{**}$ ). نتایج نشان دهنده این است که بین صفات مورد بررسی، شاخص برداشت بیشترین نقش را در افزایش عملکرد ایفا کردند که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی این گیاه مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، گیاه در این شرایط با افزایش انتقال مواد به اندام هدف توانست عملکرد بالایی داشته باشد (جدول ۹).

براساس نتایج همبستگی (جدول ۹)، کود گوسفندی و زئولیت به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه بهبود بخشیدند. ارزیابی ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با اجزای عملکرد و شاخص برداشت ( $r = 0.86^{**}$ ) داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سنبله در

جدول ۹- همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

Table 9- Correlation between performance and performance components

| صفات<br>Traits                            | 1                  | 2                  | 3                   | 4                 | 5                  | ۶ |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|---|
| ۱- عملکرد دانه<br>Grain yield             | 1                  |                    |                     |                   |                    |   |
| ۲- تعداد سنبله<br>Spike number            | 0.82 <sup>**</sup> | 1                  |                     |                   |                    |   |
| ۳- تعداد دانه<br>Grain number             | 0.76 <sup>**</sup> | 0.84 <sup>**</sup> | 1                   |                   |                    |   |
| ۴- وزن هزار دانه<br>Thousand grain weight | 0.88 <sup>**</sup> | -0.10 <sup>*</sup> | -0.20 <sup>**</sup> | 1                 |                    |   |
| ۵- شاخص برداشت<br>Harvest index           | 0.86 <sup>**</sup> | 0.91 <sup>**</sup> | 0.90 <sup>*</sup>   | 0.81 <sup>*</sup> | 1                  |   |
| ۶- عملکرد بیولوژیک<br>Biological yield    | 0.91 <sup>**</sup> | 0.80 <sup>**</sup> | 0.79 <sup>**</sup>  | 0.65 <sup>*</sup> | -0.06 <sup>*</sup> | 1 |

ns، \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.

ns، \* and \*\*: are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively

(2019) نیز با بررسی روی عملکرد جو بیان نمودند که کود گوسفندی بر عملکرد دانه تأثیر گذاشته و باعث افزایش معنی‌دار به میزان ۱۲ درصد می‌شود. در گزارشی دیگر توسط ابوبکر و همکاران (Abubaker et al., 2020) به افزایش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر مقادیر متوسط کود گوسفندی اشاره شده است. استفاده بیش از حد از کود گوسفندی می‌تواند به کاهش عملکرد گیاهان منجر شود. این کاهش عملکرد به دلیل عواملی مانند مسمومیت گیاه ناشی از غلظت بالای مواد مغذی، ایجاد اختلال در تعادل مواد مغذی خاک و کاهش

نتایج آزمون خاک نشان داد که مصرف کود گوسفندی در سال دوم آزمایش، درصد کربن آلی و نیتروژن کل را افزایش داده و بهبود شرایط رشدی در ریزوسفر گیاه و افزایش عملکرد جو را به همراه داشت (جدول ۳). گزارش شده است که افزایش درصد کربن آلی در سال دوم آزمایش، بهبود رشد و عملکرد گیاهان را از طریق افزایش تنوع و فعالیت ریزجانداران مفید خاک و تولید هورمون‌های محرک رشد، ویتامین‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها به همراه دارد (Shahdi Komleh et al., 2021). نجفی‌قیری و همکاران (Najafi-Ghiri et al., 2021).

خطای یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین کود زئولیت بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین ۸۱۱۷/۷۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۸ تن در هکتار به دست آمد که با غلظت ۴ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار (۷۱۳۵/۹۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک را به میزان ۱۲ درصد افزایش داد. از طرفی، کاربرد کودهای گوسفندی نیز تا مقادیر متوسط (۳ تن در هکتار) موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار آن با میانگین‌های ۷۳۷۶/۲۹ و ۲۳۲۹/۹۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمارهای ۳ و ۹ تن در هکتار مشاهده شد (جدول ۷).

هر عاملی که موجب فراهمی بیشتر عناصر غذایی برای گیاه شود، عملکرد بیولوژیک آن را افزایش می‌دهد. استفاده از کود دامی و زئولیت به افزایش فراهمی مواد غذایی به‌ویژه فسفر کمک کرده و در نتیجه می‌تواند به افزایش وزن بیولوژیک گیاه منجر شود. همچنین مصرف این کودها از طریق تأثیر مثبت آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث افزایش عملکرد بیولوژیک خاک می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که این کودها نه تنها ویژگی‌های شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشند، بلکه ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیک مانند ظرفیت نگهداری آب، پایداری خاک‌دانه‌ها، تخلخل و فعالیت موجودات زنده مفید خاک را نیز ارتقاء می‌دهند، که همه این عوامل به رشد و عملکرد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Rayne & Aula, 2020). بهبود عملکرد بیولوژیک گندم تحت تأثیر مصرف کود گوسفندی در مقایسه با شاهد نیز گزارش شده است (Abdel-Galil & Abdel-Gawad, 2020). عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده توانایی گیاه زراعی در تبدیل فتوسنتز حقیقی به فتوسنتز خالص است. یک مطالعه نشان داد که زئولیت به عنوان منبع سیلیسم، با تحریک فتوسنتز می‌تواند به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه کمک کند (Elrys et al., 2019). همچنین خلیق و همکاران (Khalique et al., 2024) با بررسی اثر کاربرد کود دامی و زئولیت بر عملکرد بیولوژیک گزارش کردند که با افزایش درصد زئولیت در کود دامی، عملکرد بیولوژیک گندم افزایش یافت.

#### شاخص برداشت

بررسی تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کودهای زئولیت و گوسفندی باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر شاخص برداشت جو شد (جدول ۵). براساس مقایسه میانگین کود زئولیت بر شاخص برداشت، کاربرد زئولیت تا مقادیر متوسط موجب افزایش این صفت شد، به طوری که تیمار ۴ تن در

فعالیت ریزجانداران مفید خاک رخ می‌دهد. از دلایل کاهش عملکرد دانه در مقادیر بالای کود گوسفندی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ۱- مصرف زیاد کود گوسفندی، به‌ویژه کودهای تازه و تجزیه نشده، می‌تواند حاوی غلظت بالایی از مواد مغذی باشد که در نهایت منجر به مسمومیت گیاه و سوختگی ریشه و برگ‌ها می‌شود. ۲- کود گوسفندی، مانند سایر کودهای دامی، ممکن است حاوی مقادیر نامتعادلی از مواد مغذی باشد. استفاده بیش از حد از این کود، می‌تواند تعادل مواد مغذی در خاک را بر هم بزند و نیازهای خاص گیاه به مواد مغذی را به طور کامل برآورده نکند. ۳- کوددهی بیش از حد می‌تواند به کاهش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفیدی که در تجزیه مواد آلی و آزاد کردن مواد مغذی برای گیاه نقش دارند، منجر شود. ۴- در برخی موارد، کوددهی بیش از حد با کودهای ازته (مثل کود گوسفندی) می‌تواند باعث رشد بیش از حد اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) شود و در نتیجه، مانع از تشکیل گل و کاهش عملکرد محصول گردد. ۵- نیتروژن اضافی موجود در کود گوسفندی به مرور زمان می‌تواند منجر به اسیدی شدن خاک شود که این امر نیز بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد.

زئولیت به عنوان اصلاح کننده خاک، با جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی موجب بهبود رشد گیاه جو می‌شود. این ماده با افزایش فراهمی طولانی مدت آب، آب قابل دسترس را برای گیاه را افزایش داده و در نتیجه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. مصرف بیش از حد زئولیت نه تنها مفید نیست، بلکه می‌تواند عملکرد دانه را کاهش دهد و به‌ویژه زئولیت با محتوای سدیم بالا اثر بازدارندگی بر گیاهان دارد. در آزمایشی روی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط اقلیمی خرم‌آباد نشان داده شد که با مصرف بیش از ۵ تن در هکتار بقایای جو + ۲/۵ تن در هکتار زئولیت، عملکرد دانه به میزان ۴۵ درصد کاهش داشت (Cheraghi et al., 2021). از طرفی، کاهش عملکرد در مقادیر بالای زئولیت به دلیل جذب کاتیون‌ها توسط ساختار آلومینوسیلیکاتی زئولیت است که منجر به تثبیت و کاهش حلالیت فسفر و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از کود زئولیت، تأثیر مثبتی بر خصوصیات خاک دارد و می‌تواند به بهبود تولید و افزایش عملکرد دانه در جو کمک کند (Mahmoud et al., 2021). نتایج این آزمایش با نتایج اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2021) بر روی گندم مطابقت داشت. طبق نتایج این محققان، با مصرف زئولیت به عنوان مواد سوپرچاذب با غلظت ۱۵ تن در هکتار، عملکرد دانه ۴۳ درصد افزایش پیدا کرد.

#### عملکرد بیولوژیک

براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۵)، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر کودهای زئولیت و گوسفندی در سطح احتمال

گوسفندی و تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت و ۶ تن در هکتار کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمارهای عدم کاربرد زئولیت و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی، ۸ تن در هکتار زئولیت و عدم کاربرد کود گوسفندی و ۱۲ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار کودهای ۱۲ تن در هکتار زئولیت و عدم کاربرد گوسفندی به میزان ۲۲ درصد پروتئین دانه را افزایش داد (جدول ۶).

افزایش غلظت پروتئین دانه جو پس از استفاده از کود گوسفندی و زئولیت به دلیل افزایش جذب عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر، روی، آهن و منگنز است که در این کود وجود دارد. در نتیجه بهبود تغذیه گیاه منجر به افزایش تشکیل پروتئین شد. برخی محققان نیز گزارش کردند که زئولیت با جلوگیری از اتلاف نیتروژن در توده کودی و خاک، نیتروژن بیشتری را در اختیار گیاه قرار می دهد و باعث افزایش درصد پروتئین دانه می شود. این تأثیر بر جذب و سوخت و ساز نیتروژن، به طور مستقیم بر جذب و سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین ها تأثیر می گذارد (Khashei Siuki et al., 2020). در بررسی کاربرد کود گوسفندی-شیمیایی در پنج سطح (۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰) و زئولیت در چهار سطح (۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) در لوبیا، نتایج نشان داد که تیمار ۷۵ درصد گوسفندی و ۲۵ درصد اوره و ۹ تن در هکتار زئولیت سبب افزایش میزان پروتئین دانه شد (Kolaei et al., 2024). همچنین در تحقیقات دیگری، افزایش درصد پروتئین در تیمارهای کاربرد کود زئولیت (Elsawy et al., 2023) و دامی (گوسفندی) (Allahresani & Ramazani, 2020) به ترتیب به میزان ۱۲ و ۲۲ درصد نسبت به شاهد در گندم و ذرت بیان شد. زئولیت همچنین به عنوان یک اصلاح کننده خاک، با افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک، جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه را تسهیل می کند. همچنین زئولیت می تواند با کاهش آشوبی عناصر غذایی و افزایش فعالیت ریزجاندانان مفید خاک، به بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش پروتئین دانه کمک کند. ترکیب کود دامی و زئولیت می تواند اثرات مثبت هر دو را تقویت کند. به عنوان مثال، زئولیت می تواند جذب نیتروژن از کود دامی را بهبود بخشد و در نتیجه، سنتز پروتئین در گیاه را افزایش دهد (Moshatati et al., 2019).

### عناصر غذایی دانه و علوفه

#### نیتروژن دانه و علوفه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که نیتروژن دانه و علوفه تحت تأثیر کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار شدند (جدول ۱۰). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود

هکتار زئولیت با میانگین ۳۵/۶۴ درصد بیشترین میزان شاخص برداشت را به خود اختصاص داد که با سطح ۸ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۴ درصدی شاخص برداشت شد. تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف کود گوسفندی نیز نشان داد که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۳۴/۲۸ درصد از سطح ۳ تن در هکتار به دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود گوسفندی اختلاف معنی داری نداشت. از طرفی، کمترین میزان شاخص برداشت با میانگین ۳۱/۱۶ درصد در تیمار ۶ تن در هکتار مشاهده شد که با ۹ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۷).

استفاده از کودهای گوسفندی باعث افزایش شاخص برداشت به دلیل افزایش وزن دانه ها نسبت به وزن کاه و کلش (عملکرد بیولوژیک) جو شد. افزایش عملکرد دانه و تأثیر معنی دار آن نیز موجب افزایش شاخص برداشت در تیمارهای حاوی کود دامی گردید. گزارش شده است که علت افزایش شاخص برداشت، حضور عناصر غذایی بیشتر در خاک در شرایط اعمال کود دامی در نتیجه افزایش عملکرد و به تبع افزایش شاخص برداشت بود (Moradi & Shahbazi, 2023). نتایج آزمایشی که در دو سال زراعی در مصر انجام شد، نشان داد که مصرف ۲۴ تن در هکتار کود گوسفندی در مقایسه با شاهد سبب افزایش ۱۸ درصدی شاخص برداشت در سال ۲۰۱۹ و ۱۵ درصدی در سال ۲۰۲۰ در جو شد (Gomaa et al., 2021). زئولیت با تقویت خاک، جلوگیری از فرسایش و جذب آب، شرایط مناسبی برای رشد گیاهان فراهم کرده و در نتیجه شاخص برداشت را افزایش می دهد. نتایج تحقیق حاضر با یافته های رضوانی و کافی (Rezvani & Kafi, 2024) مبنی بر افزایش شاخص برداشت با اعمال کود زئولیت مطابقت داشت. این محققان دلیل این افزایش را حفظ جذب آب توسط گیاه و جلوگیری از تخریب غشاهای سلولی ذکر کردند. در تحقیقی دیگر (Hassan et al., 2024)، گزارش شد که مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت در مقایسه با عدم مصرف زئولیت توانست شاخص برداشت گندم را ۱۵ درصد افزایش دهد.

### پروتئین دانه

طبق جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول ۸)، اثر اصلی کودهای زئولیت، گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد بر پروتئین دانه معنی دار بودند. نتایج مقایسه میانگین کود زئولیت × کود گوسفندی نشان داد که در همه سطوح کود گوسفندی، کاربرد کود زئولیت موجب افزایش پروتئین دانه شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین های ۱۱/۹۳ و ۱۱/۸۳ درصد در تیمار ۸ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود

جذب نیتروژن گیاه را افزایش داد (Luis Moreno et al., 2017). در تحقیقی دیگر روی گندم، کاربرد زئولیت به میزان ۱۵ تن در هکتار، میزان نیتروژن را نسبت به شاهد ۱۴ درصد افزایش داد (Aslani et al., 2021). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که ترکیب کودهای نیتروژنه با زئولیت باعث کاهش معنی دار غلظت نیتروژن در توده گیاهی جو نسبت به شاهد شد. به نظر می‌رسد که این کاهش به دلیل جذب نیتروژن توسط زئولیت در زمان فراهمی مواد غذایی و آزادسازی کُند آن در طول رشد گیاه باشد، که با نتایج این آزمایش تناقض دارد (Rehakova et al., 2004).

### فسفر دانه و علوفه

فسفر دانه تحت اثر کودهای زئولیت، گوسفندی، اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی و سال × کود زئولیت و فسفر علوفه تحت اثر کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار بودند (جدول ۱۰). مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی بر فسفر دانه نشان داد که بیشترین میزان فسفر دانه با میانگین ۰/۳۷ درصد از تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت با کاربرد ۶ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد که با تیمارهای ۳ تن در هکتار و عدم کاربرد کود گوسفندی در همین تیمار کود زئولیت و تیمارهای ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی در تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی داری نداشت. درحالی که کمترین میزان فسفر دانه با میانگین ۰/۲۰ درصد در تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمارهای ۳ تن در هکتار کود گوسفندی در همین تیمار زئولیت، تیمارهای عدم کاربرد و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی در تیمارهای ۸ و ۱۲ تن در هکتار زئولیت در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۱۱). براساس نتایج مقایسه میانگین جدول ۱۲، در هر دو سال زراعی، کاربرد زئولیت سبب افزایش فسفر دانه شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین ۰/۳۱ درصد از تیمارهای ۸ تن در هکتار زئولیت در سال دوم و ۴ تن در هکتار زئولیت در سال اول به دست آمد که نسبت به کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد زئولیت در سال اول، فسفر دانه را به میزان ۲۹ درصد افزایش داد. تغییرات فسفر علوفه در غلظت‌های مختلف کود گوسفندی نشان داد که کاربرد این کود موجب افزایش این صفت شد، به طوری که تیمار ۶ تن در هکتار با میانگین ۰/۱۲ درصد از بیشترین میزان فسفر علوفه برخوردار بود که با تیمار ۹ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت. تیمار عدم کاربرد کود گوسفندی با میانگین ۰/۱۰ درصد نیز کمترین میزان فسفر علوفه را به خود اختصاص داد که با تیمار ۳ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۱۳).

گوسفندی بر نیتروژن دانه و علوفه جو، استفاده از کودهای زئولیت و گوسفندی سبب افزایش نیتروژن دانه و علوفه شد، به طوری که تیمارهای ۴ تن در هکتار زئولیت با ۶ تن در هکتار کود گوسفندی و تیمار ۸ تن در هکتار کود زئولیت با ۳ تن در هکتار کود دامی به ترتیب با میانگین های ۲/۰۵ و ۲/۰۳ درصد از بیشترین میزان نیتروژن دانه و تیمارهای ۱۲ تن در هکتار زئولیت با ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و ۸ تن در هکتار زئولیت با ۳ تن در هکتار کود گوسفندی به ترتیب با میانگین های ۲/۰۴ و ۲/۰۱ درصد از بیشترین میزان نیتروژن علوفه برخوردار بودند. همچنین کمترین میزان نیتروژن دانه با میانگین ۱/۵۹ درصد به تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و عدم کاربرد کود گوسفندی و نیتروژن علوفه با میانگین ۱/۵۳ درصد به تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی اختصاص یافت. بین اکثر تیمارهای آزمایشی از نظر نیتروژن علوفه اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۱۱).

مصرف کود دامی باعث افزایش محتوای نیتروژن دانه ها می شود، زیرا نیتروژن در مرحله زایشی به سرعت از ساقه و برگ به دانه های در حال نمو منتقل می گردد (Moslehi et al., 2016). کودهای گوسفندی به افزایش ذخیره نیتروژن قابل جذب خاک کمک می کنند. کلایی و همکاران (Kolaei et al., 2024) تأثیر کودهای دامی و زئولیت را بر جذب عناصر غذایی در لوبیا بررسی نمودند. آن ها دریافتند که تیمار ۷۵:۲۵ دامی:شیمیایی و ۶ تن در هکتار زئولیت تأثیر معنی داری بر جذب نیتروژن داشت و با افزایش سطح کود دامی، میزان سبزیگی و غلظت نیتروژن در دانه و اندام های هوایی به طور معنی داری افزایش یافت. پژوهشگران گزارش کردند که به کارگیری کودهای دامی مختلف از قبیل کودهای گوسفندی و گاوی موجب افزایش نیتروژن گیاه گندم شد، به طوری که بیشترین مقدار جذب نیتروژن دانه و کلش به ترتیب با میانگین های ۱۷۳/۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۲۴ درصد از به کارگیری ۱۰۰ درصد کود گوسفندی به دست آمد (Majidi & Shahbazi, 2020). در تحقیق دیگری، غلظت نیتروژن دانه و اندام های هوایی گیاه جو با به کارگیری کودهای گوسفندی در دو سال زراعی ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در ترکیه افزایش معنی داری یافت (Erman et al., 2024).

افزودن زئولیت به خاک موجب بهبود خصوصیات خاک (افزایش تخلخل خاک و تهویه بهتر)، رشد ریشه و رهاسازی کنترل شده نیتروژن شد که در نتیجه، جذب نیتروژن افزایش یافته و رشد گیاه به طور قابل توجهی بهبود یافت (Aslani et al., 2021). زئولیت به ویژه کلینوپتیلولایت به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل بالا برای جذب نیتروژن، می تواند در کاهش شست و شوی نیتروژن و افزایش نیتروژن در گیاه و خاک مؤثر باشد (Hazrati et al., 2020). در مطالعه ای که روی جو انجام شد، استفاده از زئولیت،

جدول ۱۰- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کود گوسفندی و زئولیت بر پروتئین و برخی عناصر غذایی دانه و علوفه جو دیم  
Table 10- Combined analysis of variance (mean of squares) of Sheep Manure and zeolite on rainfed barley protein and some nutritional elements of grain and fodder

| منابع تغییرات<br>S.O.V                   | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean of squares |                     |                     |                      |                        |                        |
|------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
|                                          |                  | پروتئین دانه<br>Grain protein     | دانه<br>Grain N     | زئولیت<br>Fodder N  | فسفر دانه<br>Grain P | فسفر علوفه<br>Fodder P | پتاسیم دانه<br>Grain K |
| سال<br>Year (Y)                          | 1                | 8.64 <sup>ns</sup>                | 0.19 <sup>ns</sup>  | 0.25 <sup>ns</sup>  | 0.006 <sup>ns</sup>  | 0.00007 <sup>ns</sup>  | 0.08 <sup>ns</sup>     |
| تکرار در سال<br>R/Y                      | 4                | 1.48                              | 0.03                | 0.04                | 0.0005               | 0.0001                 | 0.0001                 |
| زئولیت<br>Zeolite (Z)                    | 3                | 0.94*                             | 0.02 <sup>ns</sup>  | 0.54 <sup>ns</sup>  | 0.10**               | 0.0004 <sup>ns</sup>   | 0.55**                 |
| کود گوسفندی<br>Sheep manure (SM)         | 3                | 4.73**                            | 0.2**               | 0.14**              | 0.04**               | 0.0007*                | 0.12**                 |
| زئولیت × کود گوسفندی<br>Z × SM           | 9                | 6.06**                            | 0.14**              | 0.17**              | 0.08**               | 0.0003 <sup>ns</sup>   | 0.20**                 |
| سال × زئولیت<br>Y × Z                    | 3                | 0.08 <sup>ns</sup>                | 0.009 <sup>ns</sup> | 0.002 <sup>ns</sup> | 0.005**              | 0.00006 <sup>ns</sup>  | 0.04 <sup>ns</sup>     |
| سال × کود گوسفندی<br>Y × SM              | 15               | 0.09 <sup>ns</sup>                | 0.006 <sup>ns</sup> | 0.002 <sup>ns</sup> | 0.0008 <sup>ns</sup> | 0.0001 <sup>ns</sup>   | 0.003 <sup>ns</sup>    |
| سال × زئولیت × کود گوسفندی<br>Y × Z × SM | 9                | 0.15 <sup>ns</sup>                | 0.01 <sup>ns</sup>  | 0.004 <sup>ns</sup> | 0.0007 <sup>ns</sup> | 0.00005 <sup>ns</sup>  | 0.04 <sup>ns</sup>     |
| خطای آزمایش<br>Error                     | 60               | 0.96                              | 0.64                | 0.03                | 0.001                | 0.0003                 | 0.03                   |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%)                  | -                | 9.2                               | 7.1                 | 9.2                 | 14.9                 | 13.9                   | 13.4                   |
|                                          |                  |                                   |                     |                     |                      |                        | 18.1                   |

ns, \* and \*\*: are non- significant and significant in probabilite levels of 5 and 1 %, respectively.  
ns, \* and \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی روی برخی از عناصر غذایی جو

Table 11- Comparison the mean interaction effects zeolite × sheep manure on rainfed barley some nutritional elements

| زئولیت<br>Zeolite (ton ha <sup>-1</sup> ) | کود گوسفندی<br>Sheep manure (ton ha <sup>-1</sup> ) | نیترژن دانه<br>Grain N (%) | نیترژن<br>علوفه<br>Fodder N (%) | فسفر دانه<br>Grain P (%) | پتاسیم دانه<br>Grain K (%) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                                         | 0                                                   | 1.82 <sup>c*</sup>         | 1.53 <sup>e</sup>               | 0.20 <sup>c</sup>        | 0.96 <sup>g</sup>          |
|                                           | 3                                                   | 1.99 <sup>ab</sup>         | 1.76 <sup>bcd</sup>             | 0.22 <sup>c</sup>        | 1.19 <sup>def</sup>        |
|                                           | 6                                                   | 1.78 <sup>c</sup>          | 1.92 <sup>abc</sup>             | 0.30 <sup>abc</sup>      | 1.53 <sup>b</sup>          |
|                                           | 9                                                   | 1.91 <sup>abc</sup>        | 1.86 <sup>abcd</sup>            | 0.29 <sup>abc</sup>      | 1.31 <sup>cd</sup>         |
| 4                                         | 0                                                   | 1.7 <sup>d</sup>           | 1.91 <sup>abc</sup>             | 0.30 <sup>abc</sup>      | 1.45 <sup>bc</sup>         |
|                                           | 3                                                   | 1.78 <sup>cde</sup>        | 1.96 <sup>ab</sup>              | 0.27 <sup>abc</sup>      | 1.27 <sup>cde</sup>        |
|                                           | 6                                                   | 2.05 <sup>a</sup>          | 1.79 <sup>bcd</sup>             | 0.37 <sup>a</sup>        | 1.78 <sup>a</sup>          |
|                                           | 9                                                   | 1.63 <sup>de</sup>         | 1.67 <sup>de</sup>              | 0.25 <sup>bc</sup>       | 1.20 <sup>def</sup>        |
| 8                                         | 0                                                   | 1.90 <sup>abc</sup>        | 1.75 <sup>cd</sup>              | 0.23 <sup>c</sup>        | 1.14 <sup>defg</sup>       |
|                                           | 3                                                   | 2.03 <sup>a</sup>          | 2.01 <sup>a</sup>               | 0.22 <sup>c</sup>        | 1.17 <sup>def</sup>        |
|                                           | 6                                                   | 1.64 <sup>de</sup>         | 1.87 <sup>abcd</sup>            | 0.25 <sup>bc</sup>       | 1.18 <sup>def</sup>        |
|                                           | 9                                                   | 1.81 <sup>c</sup>          | 1.86 <sup>abcd</sup>            | 0.25 <sup>bc</sup>       | 1.14 <sup>efg</sup>        |
| 12                                        | 0                                                   | 1.59 <sup>e</sup>          | 1.93 <sup>abc</sup>             | 0.24 <sup>c</sup>        | 1.32 <sup>cd</sup>         |
|                                           | 3                                                   | 1.90 <sup>abc</sup>        | 2.04 <sup>a</sup>               | 0.22 <sup>c</sup>        | 1.01 <sup>fg</sup>         |
|                                           | 6                                                   | 1.98 <sup>ab</sup>         | 1.74 <sup>de</sup>              | 0.26 <sup>bc</sup>       | 1.01 <sup>fg</sup>         |
|                                           | 9                                                   | 1.65 <sup>de</sup>         | 1.69 <sup>de</sup>              | 0.23 <sup>c</sup>        | 1.09 <sup>efg</sup>        |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × زئولیت بر فسفر دانه جو

Table 12- Comparison the mean interaction effects year × zeolite on rainfed barley grain P

| سال<br>Year   | زئولیت<br>Zeolite (ton ha <sup>-1</sup> ) | فسفر دانه<br>Grain P (%) |
|---------------|-------------------------------------------|--------------------------|
| اول<br>First  | 0                                         | 0.22 <sup>b*</sup>       |
|               | 4                                         | 0.31 <sup>a</sup>        |
|               | 8                                         | 0.24 <sup>ab</sup>       |
|               | 12                                        | 0.23 <sup>ab</sup>       |
| دوم<br>Second | 0                                         | 0.24 <sup>ab</sup>       |
|               | 4                                         | 0.27 <sup>ab</sup>       |
|               | 8                                         | 0.31 <sup>a</sup>        |
|               | 12                                        | 0.23 <sup>ab</sup>       |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر کود گوسفندی بر فسفر و پتاسیم علوفه جو

Table 13- Comparison the mean effects sheep manure on rainfed barley fodder p and k

| کود گوسفندی<br>Sheep manure (ton ha <sup>-1</sup> ) | فسفر علوفه<br>Fodder P (%) | پتاسیم علوفه<br>Fodder K (%) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 0                                                   | 0.10 <sup>b*</sup>         | 1.28 <sup>b</sup>            |
| 3                                                   | 0.11 <sup>b</sup>          | 1.51 <sup>ab</sup>           |
| 6                                                   | 0.12 <sup>a</sup>          | 1.63 <sup>a</sup>            |
| 9                                                   | 0.11 <sup>ab</sup>         | 1.60 <sup>a</sup>            |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

هکتار زئولیت، تیمارهای ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی با کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین کود گوسفندی بر پتاسیم علوفه، بیشترین میزان پتاسیم علوفه با میانگین های ۱/۶۳ و ۱/۶۰ درصد به ترتیب به تیمارهای ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی اختصاص یافت که نسبت به شاهد ۲۱ درصد پتاسیم علوفه را افزایش داد (جدول ۱۳).

پتاسیم در افزایش محتوای نشاسته، کربوهیدرات ها و پروتئین ها، بهبود فتوسنتز و فعالیت آنزیم ها، تقویت سنتز پروتئین، کربوهیدرات ها و روغن نقش مهمی دارد. همچنین این عنصر به افزایش توانایی گیاهان در مقابله با آفت ها و بیماری ها کمک می کند (Perry et al., 2010). نتایج تحقیقی نشان داد که افزایش جذب پتاسیم با رشد سبزینه ای گیاه و جذب نیتروژن و فسفر ارتباط مستقیم دارد (Choudhury & Khanif, 2011). به نظر می رسد که استفاده از کود گوسفندی به بهبود فراهمی و جذب نیتروژن و فسفر کمک کرده و در نتیجه جذب و ذخیره پتاسیم در دانه و علوفه را بهبود می بخشد. گزارش شده است که فراهمی پتاسیم در ریزوسفر گیاه به دلیل استفاده از کودهای دامی، یکی از عوامل احتمالی افزایش جذب و ذخیره این عنصر در بقایای کاه و کلش است (Shahdi Kumleh et al., 2022). مجیدی و شهبازی (Majidi & Shahbazi, 2020) در آزمایشی نشان دادند که واکنش محتوای پتاسیم دانه به سطوح کود گوسفندی افزایشی بود. بر این اساس، هنگامی که ۱۰۰ درصد کود گوسفندی مصرف شد، محتوای پتاسیم دانه حدود ۰/۴۵ درصد به دست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود موجب افزایش ۳۲ درصدی پتاسیم در گندم شد. علاوه بر این، در مورد اثر کودهای گوسفندی بر غلظت عنصر پتاسیم دانه و علوفه، نتیجه آزمایشی مشخص کرد که کاربرد کود گوسفندی باعث افزایش محتوای پتاسیم در گیاه جو شد (Najafi-Ghiri et al., 2019).

افزایش رشد گیاهان در تیمارهای حاوی زئولیت به دلیل افزایش فراهمی برخی عناصر غذایی است. در این تیمارها، جایگزینی کلسیم به جای آمونیوم و پتاسیم در زئولیت، علاوه بر تأمین پتاسیم باعث حل شدن کانی های فسفره و افزایش غلظت فسفر در خاک می شود. این فرآیندها یعنی تبادل کاتیونی و حلالیت کانی های فسفره، نقش مهمی در جذب و آزادسازی عناصر غذایی و تأمین نیازهای گیاهان دارند (Gruener et al., 2007). در برخی از مطالعات، اثر مثبت زئولیت بر جذب پتاسیم دانه جو (Najafinezhad et al., 2014) و گندم (Abd El-Azeiz et al., 2024) گزارش شده است. محققان در بررسی اثر زئولیت بر جذب عناصر غذایی گزارش کردند که با توجه به اینکه پتاسیم یکی از اجزای اصلی زئولیت می باشد، بنابراین افزایش جذب پتاسیم به وسیله توده گیاهی منطقی به نظر می رسد (Jami et al., 2018).

کود گوسفندی با افزایش زیست توده و تنوع میکروبی در خاک، به تجزیه مواد آلی و معدنی کردن فسفر کمک کرده و آن را به شکل قابل استفاده برای گیاهان تبدیل می کند، که نقش مهمی در چرخه فسفر خاک دارد (Rezaei et al., 2013). از طرفی، زیست توده میکروبی با افزایش مواد ارگانیک در خاک، قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می دهد. این فرآیند منجر به آزادسازی CO<sub>2</sub> و تشکیل اسید کربنیک می شود که فسفر معدنی را حل کرده و فسفر قابل جذب برای گیاهان را افزایش می دهد (Gholamhoseini et al., 2013). در تحقیقی، بیشترین میزان فسفر دانه و علوفه جو در تیمارهای کود گوسفندی مشاهده شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد (Erman et al., 2024). زئولیت ها، توانایی جذب یون ها از جمله فسفر را دارند که می تواند به حفظ فسفر در خاک و جلوگیری از آبشویی آن کمک کند. این ویژگی به بهبود دسترسی گیاه به فسفر و افزایش غنای آن در دانه ها کمک می کند و در تشکیل دانه نقش مهمی ایفا می کند (Zheng et al., 2019). بنابراین فراهمی این عناصر سبب افزایش میزان فسفر در دانه جو شده است. همچنین زئولیت ها می توانند به بهبود ساختار خاک و افزایش جذب فسفر توسط ریشه های گیاهان کمک کنند که این امر به بهینه سازی استفاده گیاهان از فسفر منجر می شود (Cataldo et al., 2021). گزارش شده است که به علت نقش مثبت زئولیت بر تنظیم اسیدیته خاک، کاربرد آن همراه با کودهای دامی به طور قابل توجهی موجب بهبود جذب و کارایی عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام های هوایی گندم شد (Khaliq et al., 2024). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که به کارگیری زئولیت با افزایش حلالیت و فراهمی فسفر موجب افزایش ۲۳ درصدی مقدار فسفر در اندام هوایی نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت در گیاه ذرت شد (Amirahmadi et al., 2022).

### پتاسیم دانه و علوفه

تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد که پتاسیم دانه تحت تأثیر کود زئولیت، کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد و پتاسیم علوفه فقط تحت تأثیر کود گوسفندی در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی دار شدند (جدول ۱۰). مقایسه میانگین کود زئولیت × کود گوسفندی بر پتاسیم دانه نشان داد که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۱/۷۸ درصد در تیمار کاربرد ۶ تن در هکتار کود گوسفندی با ۴ تن در هکتار زئولیت مشاهده شد که نسبت به کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی به میزان ۴۶ درصد پتاسیم دانه را افزایش داد. تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی با تیمارهای عدم کاربرد کود گوسفندی و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی با کاربرد ۸ تن در

## نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر سیستم ارگانیک با استفاده از کود آلی و زئولیت در مقادیر مختلف بر برخی صفات کمی و کیفی جو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر متوسط کود آلی گوسفندی و زئولیت (به دلیل جذب بیشتر آب و مواد غذایی و فراهمی آن برای رشد گیاه در طول فصل رشد) عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو را بهبود بخشید. این منابع موجب افزایش مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر و پتاس در بذر گیاه جو کشت شده در یک خاک آهکی شدند، به طوری که به نظر می رسد که کود آلی و زئولیت موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد جو شده اند. به منظور تولید مطلوب گیاه جو

در یک خاک آهکی، به کارگیری کود گوسفندی و زئولیت در مقادیر متوسط (۳-۵ تن در هکتار) با بهبود رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و فراهمی عناصر غذایی می تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و تولید پایدار گیاه ایفا کند.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد خرم آباد بابت راهنمایی و کمک های آن ها در طول پروژه تقدیر و تشکر به عمل می آید.

## References

1. AbdEL-Azeiz, E. H., Elsonbaty, A., & Elsherpiny, M. A. (2024). Enhancing the quantitative and qualitative traits of wheat grown with low mineral nitrogen level through zeolite, sorbitol and copper. *Egyptian Journal Soil Science*, 64(3), 1053-1067.
2. Abdel-Galil, M. A. S., & Abdel-Gawad, A. M. A. (2020). Irrigation water regime and manure extract for wheat production grown under drip irrigation. *Agriculture Sciences Journal*, 3(3), 306-318.
3. Abubaker, J., Ibrahim, N., Alkanami, M., Alaswd, A., & El-Zeadani, H. (2020). Response of winter wheat to the application rate of raw and digested sheep manure alone and supplemented with urea in Libyan desert soil. *Scientific African*, 8, e00332. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00332>
4. Allahresani, M., & Ramazani, S. H. R. (2020.) Effects of biological, chemical and animal fertilizers on photosynthetic pigments, yield and yield components of corn 500 single cross. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 125-143. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12792>
5. Almeida, R. F., Queiroz, I. D. S., Mikhael, J. E. R., Oliveira, R. C., & Borges, E. N. (2019). Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 203-210. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00291-x>
6. Amirahmadi, E., Ghorbani, M., & Moudry, J. (2022). Effects of zeolite on aggregation, nutrient availability, and growth characteristics of corn (*Zea mays* L.) in cadmium-contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(11), 436. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05910-4>
7. Aslan, M. U., & Arslan, H. (2024). The Effect of Zeolites on Soil and Plant: A Review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(14), 2197-2216. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2346211>
8. Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., 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 with English abstract). <https://doi.org/10.22055/AGEN.2021.37397.1603>
9. Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., Masini, C. M., & Mattii, G. B. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11, 1547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>
10. Cheraghi, S., Khorgami, A., & Pezeshkpour, P. (2021). Effect of application of barley residue and zeolite on seed yield and water productivity of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed and supplement irrigation conditions in Khoramabad, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(2), 198-210. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1400.23.2.1.7>
11. Choudhury, M. A., & Khanif, Y. M. (2011). Effects of nitrogen, copper and magnesium fertilization on nutrition of some macro and micro nutrients of rice crop. *Bangladesh Research Publications Journal*, 5(3), 201-206.
12. Dubey, P. K., Singh, A., Chaurasia, R., Pandey, K. K., Bundela, A. K., Singh, G. S., & Abhilash, P. C. (2022). Animal manures and plant residue-based amendments for sustainable rice-wheat production and soil fertility improvement in eastern Uttar Pradesh, North India. *Ecological Engineering*, 177, 106551. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106551>
13. Eid, M. S., Khalifa, T. H. H., Shaker, E. M., & Aboelsoud, H. M. (2022). Zeolite and compost as soil amendments to rationalize irrigation water for the barley crop under salt affected soils. *Journal of Soil Sciences*

- and *Agricultural Engineering*, 13(2), 65-74.
14. Elrys, A. S., Raza, S., Abdo, A. I., Liu, Z., Chen, Z., & Zhou, J. (2019). Budgeting nitrogen flows and the food nitrogen footprint of Egypt during the past half century: Challenges and opportunities. *Environment International*, 130, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.06.005>
15. Elsayy, H. I., Mohamed, A. M., Mohamed, E. N., & Gad, K. I. (2023). The potential of a mixture of zeolite, calcium, and organic compounds on mitigating the salinity stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 101(2), 362-381.
16. Erman, M., Çiğ, F., Sönmez, F., & Ceritoğlu, M. (2024). Sheep manure and sewage sludge boost biofortification of barley and restricts heavymetal accumulation in plant tissues. *Journal of Plant Nutrition*, 47(9), 1494-1512. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2315969>
17. FAO. (2023). World Food and Agriculture Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
18. Fathi, A., & Mehdiya Afra, M. (2024). Plant growth and development in relation to phosphorus: A review. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine ClujNapoca. Agriculture*, 81(1). <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:2022.0012>
19. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., & Farmanbar, E. (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.002>
20. Gomaa, M. A., Ibrahim, I. A. E., Kandil, E., & Hussain, M. A. E. (2021). Performance of barley under organic manure, salinity remediator and selenium as mitigators to soil salinity. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 12(1), 123-133.
21. Gruener, J. E., Ming Jr, D. W., Galindo, C., Henderson, K. E., & Golden, D. C. (2007). Plant productivity and characterization of zeoponic substrates after three successive crops of radish (*Raphanus sativus* L.). *Microporous and Mesoporous Materials*, 105, 279-284. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.04.016>
22. Hassan, M. U., Shah, S. T., Basit, A., Hikil, W. M., Khan, M. A., Khan, W., & Said-Al Ahl, H. A. (2024). Improving wheat yield with zeolite and tillage practices under rain-fed conditions. *Land*, 13(8), 1248. <https://doi.org/10.3390/land13081248>
23. Hazrati, S., Khorizadeh, S., & Sadeghi Bakhtouri, A. R. (2020). Growth improvement, yield and nitrogen use efficiency under different nitrogen regimes in sage with zeolite application. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 9(39), 264-288.
24. Jami, M. G., Ghalavand, A., 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 with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1397.20.2.5.0>
25. Khaliq, A., Shehzad, M., Huma, M. K., Tahir, M.M., Javeed, H. M. R., Saeed, M. F., Jamal, A., Mihoub, A., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2024). Synergistic effects of urea, poultrymanure, and zeolite on wheatgrowth and yield. *Soil System*, 8, 18. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010018>
26. Khashei Siuki, A., Shahidi, A., Dastourani, M., Fallahi, H. R., & Shirzadi, F. (2020). Investigating the effect of amendments of zeolite, superabsorbent polymer, and different amounts of irrigation on sesame yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 243-255. (In persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122261>
27. Kolaei, A., Rafiee, M., Khorgami, A., & Taleshi, K. (2024). Combination of sheep manure and zeolite increase tissue micronutrients yield in red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01817-7>
28. Kordala, N., & Wyszowski, M. (2024). Zeolite properties, methods of synthesis, and selected applications. *Molecules*, 29(5), 1069. <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>
29. Lal, B., Sharma, S. C., Meena, R. L., Sarkar, S., Sahoo, A., Balai, R. C., & Meena, B. P. (2020). Utilization of byproducts of sheep farming as organic fertilizer for improving soil health and productivity of barley forage. *Journal of Environmental Management*, 269, 110765. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110765>
30. Luis Moreno, J., Ondoño, S., Torres, I., & Bastida, F. (2017). Compost, leonardite, and zeolite impacts on soil microbial community under barley crops. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 214-230. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000017>
31. Mahmoud, A. W. M., Mottaleb, A. Z. A., Rowezak, S. A., & Salama, A. M. (2021). The role of nano-silicon and other soil conditioners in improving physiology and yield of drought stressed barley crop. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 67(3), 124-143. <https://doi.org/10.2478/agri-2021-0012>
32. Majidi, A., & Shahbazi, K. (2020). Comparison of sheep and cow manures residual effects on some quantitative

- and qualitative traits of winter wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(2), 155-167. (In persian with English abstract). <https://www.magiran.com/p2186337>
33. Makvandi, M., Bakhsandeh, A., & Moshatati, A. (2021). Photosynthetic pigments content and grain quality of triticale as affected by mycorrhiza and zeolite enriched manure compost. *Isfahan University of Technology- Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 55-68. <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.1.35131>
  34. Marinangeli, C. P., Nosworthy, M. G., & Shoveller, A. K. (2024). Cereal proteins in the human diet: Reflecting on their contributions to daily protein intake. *Journal of Cereal Science*, 103908. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103908>
  35. Moradi, A., & Shahbazi, K. (2023). Effects of compost and sheep manure on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(4), 105-117. (In persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.353778.654971>.
  36. Moshatati, A., Khoai Joghani, A., Siadat, S. A., Mousavi, S. H., & Rezaei, M. (2019). The effect of animal manure and zeolite on the yield of bread wheat under water stress conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 12(4), 1179-1188. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2124.1527>
  37. Moslehi, N., Niknejad, Y., Falah Amoli, H., & Charity, N. (2016). The effect of combined application of chemical, organic and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of Tarem Hashemi rice. *Scientific Research Quarterly Journal of Crop Physiology*, 8(30), 103-87. (In Persian).
  38. Mottaghi, S., Mottaghi, L., Shiranirad, A., & Lotfifar, O. (2019). Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Journal of Plant Ecophysiology*, 36, 256-271. (In Persian with English Abstract).
  39. Najafi-Ghiri, M., Razeghizadeh, T., Taghizadeh, M. S., & Boostani, H. R. (2019). Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26, 1532-2416. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1671444>
  40. Najafinezhad, H., Sarvestani, Z. T., Sanavy, S. M., & Naghavi, H. (2014). Effect of irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer on forage yield, cadmium, nitrogen and some physiological traits of corn and sorghum. *International Journal of Biosciences*, 5(3), 234-245.
  41. Özkan, R. (2024). Effects of organic and inorganic fertilizers on yield and yield components of barley. *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(2), 90-99. <http://dx.doi.org/10.47115/bsagriculture.1361074>
  42. Perry, J. N., Devos, Y., Arpaia, S., Bartsch, D., Gathmann, A., Hails, R. S., Kiss, J., Lheureux, K., Manachini, B., Mestdagh, S., Neemann, G., Ortego, F., Schiemann, J., & Sweet, J. B. (2010). A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to Bt-maize pollen expressing Cry1Ab with in Europe. *Proceedings Biological Sciences/The Royal Society*, 277, 1417-1425. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2009.2091>
  43. Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <http://dx.doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
  44. Rehakova, M., Cuvanov, S., Dzivak, M., Rimar, J., & Gavalova, Z. (2004). Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 8, 397-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cossms.2005.04.004>
  45. Rezaei, H. (2013). A review of the research on the application of animal manure in agricultural lands of Iran. *Journal of Land Management*, 1(1), 55-68. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/lmj.2013.100076>
  46. Rezvani, R., & Kafi, M. (2024). Investigating the effect of irrigation interval and different doses of zeolite on the growth and yield indices on white bean (*Phaseolus lanatus* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 15(1), 75-91. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85616.1076>
  47. Saikanth, K., Singh, B. V., Sachan, D. S., & Singh, B. (2023). Advancing sustainable agriculture: a comprehensive review for optimizing food production and environmental conservation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 417-425.
  48. Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T. R., & Sadok, W. (2017). Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. *Agriculture Syemt*, 153, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.12.017>
  49. Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S., & Foroughi, M. (2022). Effects of manure application on nutrient uptake in two rice varieties and some post-harvest soil chemical properties. *Land Management Journal*, 10(2), 237-258. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/LMJ.2022.127395>
  50. Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S. R., & Haghighi, A. (2021). Effect of organic fertilizer use on the yield of Hashemi and Gilaneh rice cultivars. *Shalazar*, 4, 34-39. (In Persian with English Abstract).
  51. Singh, V. K., Gill, A. A. S., Singh, O., Singh, S., & Shahi, U. P. (2024). Zeolite: A natural mineral for sustainable agriculture. In *Encyclopedia of Green Materials*. Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 1-10. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4921-9\\_263-1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4921-9_263-1)
  52. Tak, P., Rami, E., & Negi, A. (2023). Both inorganic and organic manures impact maize and its long-term consequences on the physical and chemical qualities of the soil. *International Journal Chemistry Biochem*

Science, 23, 163-173.

53. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van Der Lee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi part 7. Plant Analysis procedures. Wageningen Agriculture University. 197-200.
54. Yang, C., Du, W., Zhang, L., & Dong, Z. (2021). Effects of sheep manure combined with chemical fertilizers on maize yield and quality and spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen. *Complexity*, 21(1), 4330666. <https://doi.org/10.1155/2021/4330666>
55. Yari, L., Hashemi, S., & Khandan, A. (2019). Effect of seed moisture content at harvesting and storage temperature on barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars seeds vigor. *Journal Seed Science Reserch*, 6(3), 333-345. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3816>
56. Zheng, J., Chen, T., Chi, D., Xia, G., Wu, Q., Liu, G., & Siddique, K. H. (2019). Influence of zeolite and phosphorus applications on water use, P uptake and yield in rice under different irrigation managements. *Agronomy*, 9(9), 537. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090537>
57. Zokaee Khosroshahi, M., Karimi, R., & Toranjian, A. (2023). Influence of soil application of natural zeolite and farmyard manure on physiological indices of Grapevine under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(1), 65-84. <https://doi.org/10.22108/IJPB.2024.139739.1340>