

Evaluation of the effect of organic fertilizer and zeolite on some quantitative and qualitative traits of dryland barley

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 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 h⁻¹) as a source of organic phosphorus and four levels of zeolite (0, 4, 8 and 12 ton h⁻¹). 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⁻², 100 grains weight, harvest index, grain protein and some nutritional elements in grain and forage (N, P and K).

Results and Discussion: The results showed that the use of sheep manure and zeolite up to moderate amounts increased all measured traits. So that the highest weight of one thousand grain (45.62 gr), grain yield (2997.75 kg h⁻¹) and harvest index (34.28 %) were obtained from the treatment of 3ton h⁻¹ of sheep manure. Also, 4ton h⁻¹ of zeolite compared to the lowest treatment of 12ton h⁻¹ of zeolite caused an increase of 11, 22 and 14% in the weight of 1000 grain, grain yield and harvest index, respectively. The interaction effect of sheep manure x zeolite showed that the highest number of grain per spike (21), the number of spike m⁻² (1069), grain nitrogen (2.05%) and grain protein (11.93%) from the combination of 3ton h⁻¹ of sheep manure and 4ton h⁻¹ of zeolite. Also the most grain phosphorus (0.37 %) and grain potassium (1.78 %) were obtained from the combination of 6ton h⁻¹ of sheep manure and 4ton h⁻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: Harvest index, Number of grains per spike, Nitrogen, Protein and Grain yield

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

امیر اکبری، علی خورگامی، مسعود رفیعی، رضا میردریکوند

A.khorgami@khoiau.ac.ir

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 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 ۳ تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۲ 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 است 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 ۱۱، ۲۲ و ۱۴ درصدی به ترتیب 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.

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

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، به‌عنوان 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 آب و هوایی دارد. به همین دلیل، در مناطقی که امکان کشت سایر غلات وجود ندارد، جو به‌عنوان 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 ۳ 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 محیط‌زیست سازگار، اقتصادی و اجتماعی قابل قبول هستند. این شامل فناوری‌های پیشرفته مانند کشاورزی دقیق و محصولات اصلاح‌شده 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 اکولوژیکی و تضمین تولید مواد غذایی تأکید دارد (Saikanth et al., 2023). خاک اساس کشاورزی است، استفاده از کودهای دامی می‌تواند با بهبود محتوای رطوبت و ماده آلی خاک به حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک کمک نماید (Yang et al., 2021). کودهای دامی به‌عنوان منبع غنی فسفر آلی شناخته می‌شوند. فسفر به‌عنوان یک عنصر کلیدی در زراعت شناخته می‌شود. کمبود فسفر عملکرد محصول را به‌ویژه در مراحل اولیه رشد محدود می‌کند. این عنصر نقش کلیدی در مکانیسم‌های 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, 2023). 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 به‌عنوان 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 اجزاء عملکرد جو نشان داد که کاربرد کودهای آلی به‌ویژه 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 عنوان نمودند که بیشترین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در تیمار کود گوسفندی به‌میزان ۱۳/۴ و ۱۲ درصد بیشتر از تعداد دانه در سنبله و وزن هزار

دانه در تیمار شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). محققین به بررسی تأثیرات کودهای آلی و غیرآلی بر روی ذرت و تأثیرات باقی‌مانده آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک پرداخته‌اند. در این تحقیق از کودهای آلی شامل کود گوسفند، کود مرغ و کود دامی و همچنین از کودهای غیرآلی مانند اوره و دی‌آمونیم 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., 2024).

محققان و کشاورزان همواره به دنبال راه‌های جدیدی برای افزایش تولید محصول و در عین حال کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی روش‌های سنتی کشاورزی هستند. یکی دیگر از روش‌های ممکن استفاده از ژئولیت، به‌عنوان یک ماده معدنی طبیعی و با کیفیت بالا در بهبود زراعت گیاهان است (Singh et al., 2024). ساختار متخلخل و کریستالی ژئولیت‌ها و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها، به گسترش کاربردهای عملی در فرآیندهای مختلف از جمله کشاورزی کمک شایان توجهی کرده است (Kordala & Wyszowski, 2024). ژئولیت، غنی از مواد مغذی گیاهی، 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 ژئولیت مخلوط شده با خاک در کاهش اثرات منفی شوری و تنش خشکی بر گیاهان موثر است. ژئولیت‌ها، 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). محققین در بررسی تأثیر کاربرد کود گوسفندی و ژئولیت بر میزان جذب عناصر غذایی ارقام لوبیا قرمز بیان نمودند که افزایش کاربرد ژئولیت منجر به کاهش محتوای پرولین در بافت‌های هوایی شده، در حالی که عملکرد دانه را به میزان ۲۱۹۹ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. همچنین کاربرد کود گوسفندی و ژئولیت توانست میزان سبزیگی و غلظت نیتروژن را در بافت‌های هوایی بهبود ببخشد (Kolaei et al., 2024). در ارزیابی عملکرد دانه و برخی از خصوصیات رشدی تریپتیکاله تحت تأثیر کود دامی ترکیب شده با ژئولیت نتایج 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 ژئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر اجزای عملکرد گندم نشان داد به‌طوری که 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 ژئولیت همراه با کودهای دامی اثر مثبت و معنی‌داری بر جذب عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی گندم داشت (Khaliq et al., 2024).

در سال‌های اخیر کاربرد مواد معدنی طبیعی به منظور بهبود باروری، اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز می‌شود توصیه شده است که ژئولیت یکی از این مواد می‌باشد. استفاده از ژئولیت در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در گیاهان، به‌دلیل خاصیت نگهداری آب و بهبود ساختار خاک، اهمیت دارد. ژئولیت 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 ژئولیت به کودها به‌طور معنی‌داری هزینه‌های ناشی از مصرف کود و آب را در زمین‌های کشاورزی کاهش می‌دهد. لذا پژوهش

حاضر با هدف پاسخگویی به سوالات 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 اجزاء عملکرد جو می‌شود؟ دومین سوال اینکه آیا کاربرد زئولیت تاثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد، اجزاء عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک جو دارد؟ و سوال آخر اینکه اثرات متقابل مصرف کودهای دامی و کاربرد زئولیت در جو تاثیر معنی‌داری در عملکرد کمی و کیفی جو دارد؟

مواد و روش‌ها

این مطالعه به ارزیابی تاثیر کود آلی موجود در کود گوسفندی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم پرداخته است. آزمایش طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد، واقع در بخش کمالوند شهرستان خرم‌آباد، با موقعیت جغرافیایی $33^{\circ} 20' N$, $48^{\circ} 18' E$ و ارتفاع ۱۱۷۱ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات میزان دما، بارندگی و ساعات آفتابی در بازه‌ی زمانی ابتدای مهر تا پایان خرداد هر دو سال زراعی، این منطقه جغرافیایی در جدول ۱ آمده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. 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 ۳، ۴ و ۵ آمده است. میزان کود مصرفی برای هر سال با توجه به تجزیه خاک و نوع کود مصرفی با استفاده از فرمول‌های مربوطه به دست آمد کود آلی در هنگام تهیه بستر با توجه به تیمارها در خاک مصرف شد. نیاز گیاه جو به فسفر به منظور 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 به ترتیب 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 ریسمان‌کشی 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 توصیه شده (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 سانتی‌متری خاک با یکدیگر ترکیب نمودیم. 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 شدند. این کشت در سال دوم نیز در همین تاریخ کاشت تکرار شد و برای جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله کرت‌ها نیم متر و بلوک‌ها ۳ متر تعیین شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی و بدون استفاده از علف‌کش انجام شد و در طول دوره رشد گیاه، بیماری خاصی مشاهده نشد. برداشت محصول در دو سال آزمایش در اواسط اردیبهشت ماه به صورت دستی انجام شد. مساحت برداشت هر کرت حدود چهار مترمربع بود.

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل عملکرد و اجزاء 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 ۴ مترمربع با احتساب ۲۵ سانتی متر حاشیه از طرفین انجام شد. پس از خرم کوبی، دانه از کاه جدا و توزین شد تا عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه شود. شاخص برداشت به عنوان درصدی از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. برای سنجش اجزاء عملکرد نمونه برداری ها از خطوط میانی انجام و شمارش دستی انجام شد.

جدول ۱- داده های 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 Year 2021				سال Year 2022			
ماه Month	حداکثر دما Maximum Temperature (°C)	حداقل دما Minimum Temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)	ماه Month	حداکثر دما Maximum Temperature (°C)	حداقل دما Minimum Temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
اکتبر October	31.3	12	9.4	اکتبر October	19.8	5.8	52.4
نوامبر November	23.6	6	11.6	نوامبر November	13.4	2	105.3
دسامبر December	14.4	3.6	15.3	دسامبر December	12.5	0.2	87.2
ژانویه January	14.3	-1	4.9	ژانویه January	11.1	-0.5	51.4
فوریه February	15.7	0	31.7	فوریه February	18.3	4.9	120.2
مارس March	17.2	2.9	27.8	مارس March	19.7	6.4	40.0
آوریل April	24.9	6.9	6.52	آوریل April	27.2	10	12.2
می May	32.1	12.1	2	می May	36.6	15.5	10.11
ژوئن June	37.7	15.2	2.1	ژوئن June	39.3	19.4	0

جدول ۲- آنالیز خاک مزرعه

Table 2- Farm soil analysis

سال Year	بافت خاک Soil texture	درجه اسیدی pH	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	مولیبدن Mo (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	کربن C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)
2021	Sandy-Clay	7.91	0.71	0.71	0.82	2.4	5.71	1.00	1.15	7.11	329
2022	Sandy-Clay	7.63	0.52	0.74	0.80	2.7	5.87	1.04	1.27	8.12	331

جدول ۳- آنالیز کود مزرعه

Farm Fertilizer analysis- Table 3

کود گوسفندی sheep fertilizer	درجه اسیدی pH	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	رطوبت moisture (%)	منیزیم Mg (%)	سدیم Na (%)	کلسیم Ca (%)	گوگرد S (%)	کادمیوم Cd (%)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	کربن C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P ₂ O ₅ (%)	مواد آلی O.M (%)	مواد خنثی شده T.N.V (%)	پتاسیم K ₂ O (%)
سال اول 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 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 فیزیکیوشیمیایی زئولیت

Table 4 - Results of physicochemical analysis of zeolite

نمونه‌ها	اکسید کلسیم	اکسید سدیم	اکسید پتاسیم	آلومینیوم اکسید	سیلیسیم دی اکسید	کلرید	گوگرد تری اکسید	اکسید آهن
Sample	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%Cl	%SO ₃	%Fe ₂ O ₃
TW0	0.84	4.50	4.32	11.46	67.33	0.98	0.20	0.54
TW2	1.06	3.84	3.82	10.81	68.75	0.45	0.42	0.59
TN1	0.72	3.18	5.02	10.62	69.29	0.58	0.30	1.33
TS2	0.86	3.99	4.21	10.87	67.93	0.47	0.34	0.72
TC3	0.73	3.73	4.65	11.00	68.32	1.44	0.56	0.53

C.E.C= 200 meq 100 g⁻¹

TWO, TE2, TS2, TC3: Clinoptilotic + Cristobalite + Quartz

TN1: Clinoptilotic + Quartz + Cristobalite

به منظور اندازه گیری عناصر غذایی، پس از اتمام دوره آزمایش، اندام های هوایی (برگ و ساقه) و دانه ها جدا شدند و پس از شستشوی هر کدام از این بخش ها، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن، نمونه ها با آسیاب برقی به صورت پودر شدند. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد، عصاره گیری با استفاده از ۱۰ میلی لیتر انجام شد. از این عصاره برای اندازه گیری عناصر غذایی استفاده شد. میزان عناصر نیتروژن به صورت تیتراسیون با دستگاه تمام اتوماتیک کج دال، فسفر با معرف وانادات مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (model: BT600 Plus, Canada) در طول موج ۴۵۰ نانومتر، میزان عنصر پتاسیم (با محلول کلروسزیم ۰/۸۷ گرم در لیتر) در عصاره استخراج شده با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (model: PFP7, UK) اندازه گیری شدند (Walling et al., 1989).

پس از آزمون بار تلت و اطمینان از متجانس بودن واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب برای صفات اندازه گیری شده انجام شد. تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه گیری صفات و مقایسه میانگین داده ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم افزار آماری SAS ver 9.1 صورت گرفت و رسم شکل ها به وسیله نرم افزار Excell انجام شد.

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 معنی‌داری نداشت. درحالی که تیمار ۹ تن در هکتار با میانگین ۳۸/۴۳ گرم از کمترین میزان وزن هزار دانه برخوردار بود (جدول ۷).

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 (MS) of Sheep Manure and zeolite on rainfed barley yield and yield components

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					شاخص برداشت Harvest Index
		تعداد دانه در سنبله Number of grain per Spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike m ⁻²	وزن هزار دانه 100 grains weight	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	
سال Year	1	1.98 ^{ns}	41800.10 ^{ns}	34.49 ^{ns}	2418873.77 ^{**}	18756535.72 ^{ns}	4.29 ^{ns}
تکرار در سال (R/Y)	4	30.87	15559.14	88.13	509076.55	1479818.67	106.74
زئولیت zeolite	3	13.94 [*]	61948.74 ^{**}	111.65 ^{**}	627791.95 ^{**}	10023913.97 ^{**}	41.12 [*]
کود گوسفندی Sheep Manure	3	7.39 ^{**}	68411.94 [*]	255.06 ^{**}	2538952.69 ^{**}	15338335.92 ^{**}	44.14 [*]
زئولیت × کود گوسفندی (Z × SM)	9	13.16 ^{**}	56592.94 [*]	58.59 ^{ns}	491624.95 ^{ns}	3521905.99 ^{ns}	8.65 ^{ns}
سال × زئولیت (Y × Z)	3	0.13 ^{ns}	104940.02 ^{ns}	49.26 ^{ns}	53058.14 ^{ns}	320.31 ^{ns}	13.66 ^{ns}
سال × کود گوسفندی (Y × SM)	15	0.87 ^{ns}	20267.77 ^{ns}	55.15 ^{ns}	30098.14 ^{ns}	844623.95 ^{ns}	8.09 ^{ns}
سال × زئولیت × کود گوسفندی (Y × Z × SM)	9	2.18 ^{ns}	6210.07 ^{ns}	26.01 ^{ns}	91220.17 ^{ns}	1947.36 ^{ns}	3.74 ^{ns}
خطای آزمایش (Error)	60	5.29	26953.03	65.64	349443.58	2513475.74	15.51
ضریب تغییرات C.V (%)	-	12.46	18.13	19.23	22.43	20.17	11.82

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

ns, * and ** are non-significant and significant in probability levels of 5 and 1 %, respectively

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

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

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulms with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

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 (ton h ⁻¹) Zeolite (ton h ⁻¹)	وزن هزار دانه 100 grains weight	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	شاخص برداشت Harvest Index
	(gr)	(kg h ⁻¹)	(kg h ⁻¹)	(%)
0	41.47 ^{ab}	2693.33 ^{ab}	7888.79 ^{ab}	34.62 ^{ab}
4	45.12 ^a	2838.17 ^a	7947.75 ^{ab}	35.64 ^a
8	43.69 ^{ab}	2507.42 ^{bc}	8117.79 ^a	31.75 ^{ab}
12	40.32 ^b	2202.67 ^c	7135.92 ^b	30.62 ^b
کود گوسفندی (ton h ⁻¹) Sheep Manure (ton h ⁻¹)				
0	44.41 ^a	2420.38 ^{bc}	7376.01 ^c	32.87 ^{ab}
3	45.62 ^a	2997.75 ^a	8728.29 ^a	34.28 ^a
6	41.82 ^{ab}	2593.92 ^b	8077.02 ^b	31.16 ^b
9	38.43 ^b	2329.54 ^c	7108.92 ^c	32.79 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulms with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

کودهای آلی با افزایش محتوای عناصر غذایی، به رشد بهتر برگ‌ها و سطوح سبز گیاه کمک کرده و با بهبود فتوسنتز، تولید مواد پرورده را افزایش می‌دهند (Dubey *et al.*, 2022) که در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. 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 می‌شوند. 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 ویژگی‌های مثبت کودهای دامی به شمار می‌رود، 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، فرایند معدنی‌شدن نیتروژن را تسریع می‌کند. این نیتروژن به فرم‌های قابل جذب نترات و آمونیوم تبدیل شده و به تدریج در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Shahdi Komleh *et al.*, 2021) که این امر به افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه کمک می‌کند. 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 تیمار شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). در آزمایشی مشابه افزایش اجزای عملکرد جو را با افزایش مصرف کود گوسفندی گزارش کردند (Lal *et al.*, 2020).

زئولیت با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه خاک، از هدر رفت عناصر به‌ویژه نیتروژن جلوگیری می‌کند و فراهمی طولانی‌مدت نیتروژن اثر آن را تقویت می‌کند (Cataldo *et al.*, 2021). این افزایش فراهمی نیتروژن به کارگیری کود دامی و زئولیت، 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 به‌طوری که موجب افزایش ۲۵ درصدی تعداد سنبله و ۳۲ درصدی وزن هزار دانه شد (Mahmoud *et al.*, 2021) که با پژوهش‌های انجام شده توسط (Eid *et al.*, 2022) در جو مطابقت داشت. مشتقی و همکاران (Moshatati *et al.*, 2019) در استفاده از کود دامی و مواد زئولیت بر گیاه گندم نتایجی به دست آوردند که نشان دادند 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 داشته است.

عملکرد دانه

تجزیه و تحلیل عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اعمال شده، تأثیر معنی‌داری سال، کودهای زئولیت و گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد را 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)، ۲۲ درصد عملکرد دانه را

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 به‌ترتیب 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 Year	عملکرد دانه Grain Yield (kg h ⁻¹)
اول 2021	2276.50 ^b
دوم 2022	2794.11 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulms with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

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 بخشیده‌اند. ارزیابی ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با اجزای عملکرد و شاخص برداشت ($r=0.84^{***}$) داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سنبله در مترمربع با تعداد دانه وجود داشت ($r=0.52^{***}$). نتایج نشان دهنده این است که بین صفات مورد بررسی شاخص برداشت بیشترین نقش را در افزایش عملکرد ایفا کرده‌اند که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی این گیاه مورد استفاده قرار گیرد. درواقع گیاه در این شرایط با افزایش انتقال مواد به اندام هدف توانسته عملکرد بالایی داشته باشد (جدول ۹).

جدول ۹- همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

Table 9 – Correlation between performance and performance components

صفات Traits	1	2	3	4	5	6
۱- عملکرد دانه Grain yield	1					
۲- تعداد سنبله Spike number	0.42	1				
۳- تعداد دانه Grain number	0.36	0.52	1			
۴- وزن هزار دانه Thousand grain weight	0.38	-0.10	-0.20	1		
۵- شاخص برداشت Harvest index	0.42	0.23	0.11	0.22	1	
۶- عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.48	0.23	0.30	0.12	-0.06	1

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 داشته است (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 میکروارگانیسم‌های مفید خاک و تولید هورمون‌های محرک رشد، ویتامین‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها به همراه دارد (Shahdi Komleh et al., 2018). نجفی‌قیری و همکاران (Najafi-Ghiri et al., 2019) نیز با بررسی روی

عملکرد جو بیان نمودند که کود گوسفندی بر عملکرد دانه تأثیر گذاشته و باعث افزایش معنی‌داری به میزان ۱۲ درصد می‌شود. در گزارشی دیگر توسط (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 فعالیت میکروارگانیسم‌های 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 تجزیه‌نشده، 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 به‌طور کامل برآورده نکند. ۳- کوددهی بیش از حد می‌تواند به کاهش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های 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 به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، با جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی، موجب بهبود رشد گیاه جو می‌شود. این ماده با افزایش فراهمی طولانی‌مدت 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 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 به‌میزان 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 (Aslani et al., 2021) بر روی گندم مطابقت داشت. طبق نتایج این محققین با مصرف زئولیت به‌عنوان مواد سوپرچاق 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 خطای یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین کود زئولیت بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد به‌طوری 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) به‌میزان ۱۲ درصد عملکرد

بیولوژیک را 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 ۲۳۳۹/۹۲ 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، به ویژه فسفر، کمک کرده و در نتیجه می‌تواند به افزایش وزن بیولوژیک گیاه منجر شود. همچنین مصرف این کودها از طریق تأثیرات 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 ارتقا 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., 2021). همچنین (Khaliq 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 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

استفاده از کودهای گوسفندی باعث افزایش شاخص برداشت به دلیل افزایش وزن دانه‌ها نسبت به وزن کاه و کلش (عملکرد بیولوژیک) جو شده است. افزایش عملکرد دانه و تأثیر معنی‌دار آن، نیز موجب افزایش شاخص برداشت در تیمارهای حاوی کود دامی گردیده است. 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). در آزمایشی که در دو سال زراعی در مصر انجام شد نتایج 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 می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های (Rezvani & Kafi, 2024) مبنی بر افزایش شاخص برداشت با اعمال کود زئولیت مطابقت داشت. این محققین 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، توانسته 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 معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین کود زئولیت × کود گوسفندی نشان داد که در تمامی سطوح کود گوسفندی کاربرد کود زئولیت موجب افزایش پروتئین دانه شد به‌طوری که بیشترین میزان آن با میانگین‌های ۱۱/۹۳ و ۱۱/۸۳ درصد در تیمار ۸ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود 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 معنی‌داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار کودهای ۱۲ تن در هکتار زئولیت و عدم کاربرد گوسفندی به‌میزان ۲۲ درصد پروتئین دانه را افزایش داد (جدول ۶).

افزایش غلظت پروتئین دانه جو پس از استفاده از کود گوسفندی و زئولیت به‌دلیل 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 محققین نیز گزارش کردند که زئولیت با جلوگیری از اتلاف نیتروژن در توده کودی و خاک، نیتروژن بیشتری را در اختیار گیاه قرار می‌دهد و باعث افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود. این تأثیر بر جذب و سوخت و ساز نیتروژن، به‌طور مستقیم بر جذب و سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین‌ها تأثیر می‌گذارد (Khashei Siuki et al., 2020). در بررسی کاربرد کود گوسفندی-شیمیایی در پنج سطح (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰) 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) به‌ترتیب به‌میزان ۱۲ و ۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد در گندم و ذرت بیان شده است. زئولیت همچنین به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، با افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک، جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه را تسهیل می‌کند. همچنین، زئولیت می‌تواند با کاهش آلودگی غذایی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، به بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش پروتئین دانه کمک کند. ترکیب کود دامی و زئولیت می‌تواند اثرات مثبت هر دو را تقویت کند. به‌عنوان مثال، زئولیت می‌تواند 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

نیترژن دانه و علوفه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که نیترژن دانه و علوفه تحت تأثیر کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت $\times$ کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱۰). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت $\times$ کود گوسفندی بر نیترژن دانه و علوفه جو، استفاده از کودهای زئولیت و گوسفندی سبب افزایش نیترژن دانه و علوفه شد به‌طوری 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 به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۵ و ۲/۰۳ درصد از بیشترین میزان نیترژن 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 به‌ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۴ و ۲/۰۱ درصد از بیشترین میزان نیترژن علوفه برخوردار بودند. همچنین کمترین میزان نیترژن دانه با میانگین ۱/۵۹ درصد به تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و عدم کاربرد کود گوسفندی و نیترژن علوفه با میانگین ۱/۵۳ درصد به تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی اختصاص یافت. بین اکثر تیمارهای آزمایشی از نظر نیترژن علوفه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۱).

مصرف کود دامی باعث افزایش محتوای نیترژن دانه‌ها می‌شود، زیرا نیترژن در مرحله زایشی به سرعت از ساقه و برگ به دانه‌های در حال نمو منتقل می‌گردد (Moslehi et al., 2016). کودهای گوسفندی به افزایش ذخیره نیترژن قابل جذب خاک کمک کرده و در نتیجه، نیترژن موجود در مصرف این کود نسبت به شاهد بیشتر است. کلایی و همکاران (Kolai et al., 2023) تأثیر کودهای دامی و زئولیت را بر جذب عناصر غذایی در لوبیا بررسی نمودند. آنها دریافتند که تیمار ۷۵:۲۵ دامی:شیمیایی و ۶ تن در هکتار زئولیت تأثیر معنی‌داری بر جذب نیترژن داشت و با افزایش سطح کود دامی میزان سبزیگی و غلظت نیترژن در دانه و اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. پژوهشگران گزارش کردند به کارگیری کودهای دامی مختلف از قبیل کودهای گوسفندی و گاوی موجب افزایش نیترژن گیاه گندم شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار جذب نیترژن دانه و کلس به‌ترتیب با میانگین‌های 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 نیترژن دانه و اندام‌های هوایی گیاه جو با به کارگیری کودهای گوسفندی در دو سال زراعی ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در ترکیه افزایش معنی‌داری یافت (Ermana et al., 2024).

افزودن زئولیت به خاک موجب بهبود خصوصیات خاک (افزایش تخلخل خاک و تهویه بهتر)، رشد ریشه و رهاسازی کنترل شده نیترژن شد که در نتیجه، جذب نیترژن افزایش یافته و رشد گیاه به‌طور قابل توجهی بهبود یافت (Aslani et al., 2021). زئولیت، به‌ویژه کلینوپتیلولایت، به‌دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل بالا برای جذب نیترژن، می‌تواند در کاهش شستشوی نیترژن و افزایش نیترژن در گیاه و خاک مؤثر باشد (Hazrati et al., 2020). در مطالعه‌ای که روی جو انجام شده استفاده از زئولیت جذب نیترژن گیاه را افزایش داده است (Luis Moreno et al., 2017). در تحقیقی دیگر روی گندم کاربرد زئولیت به‌میزان ۱۵ تن در هکتار، میزان نیترژن را نسبت به تیمار شاهد ۱۴ درصد افزایش داده است (Aslani et al., 2021). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که ترکیب کودهای نیترژنه با زئولیت باعث کاهش معنی‌دار غلظت نیترژن در توده

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 (MS) of Sheep Manure and zeolite on rainfed barley protein and some nutritional elements of grain and fodder

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		پروتئین دانه Grain protein	نیترژن دانه Grain N	نیترژن علوفه Fodder N	فسفر دانه Grain P	فسفر علوفه Fodder P	پتاسیم دانه Grain K	پتاسیم علوفه Fodder K
Year سال	1	8.64 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.09 ^{ns}
تکرار در سال (R/Y)	4	1.48	0.03	0.04	0.0005	0.0001	0.0001	0.04
زئولیت zeolite	3	0.94*	0.02 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.10**	0.0004 ^{ns}	0.55**	0.05 ^{ns}
کود گوسفندی Sheep Manure	3	4.73**	0.2**	0.14**	0.04**	0.0007*	0.12**	0.60**
زئولیت × کود گوسفندی (Z × SM)	9	6.06**	0.14**	0.17**	0.08**	0.0003 ^{ns}	0.20**	0.07 ^{ns}
سال × زئولیت (Y × Z)	3	0.08 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.005**	0.00006 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}
سال × کود گوسفندی (Y × SM)	15	0.09 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.007 ^{ns}
سال × زئولیت × کود گوسفندی (Y × Z × SM)	9	0.15 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}
خطای آزمایش (Error)	60	0.96	0.64	0.03	0.001	0.0003	0.03	0.07
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.24	7.10	9.23	14.93	13.99	13.40	18.19

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.

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

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

Table 11- Comparison the mean interaction effects Zeolite × Sheep Manure on rainfed barley some nutritional elements

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

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulumnns with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

گیاهی جو نسبت به تیمار شاهد می‌شود. به‌نظر می‌رسد این کاهش به‌دلیل جذب نیترژن توسط زئولیت در زمان فراهمی مواد غذایی و آزادسازی کند 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 معنی‌دار 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 معنی‌داری 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 زرعی کاربرد زئولیت سبب افزایش فسفر دانه شد به‌طوری 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 به میزان ۲۹ درصد فسفر دانه را افزایش داد. تغییرات فسفر علوفه در غلظت‌های مختلف کود گوسفندی نشان داد که کاربرد این کود موجب افزایش این صفت شد به‌طوری 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری نداشت (جدول ۱۳).

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

Table 12- Comparison the mean interaction effects Year × Zeolite on rainfed barley grain P

سال Year	زئولیت Zeolite (ton h ⁻¹)	فسفر دانه Grain P (%)
اول First	0	0.22 ^b
	4	0.31 ^a
	8	0.24 ^{ab}
	12	0.23 ^{ab}
دوم Second	0	0.24 ^{ab}
	4	0.27 ^{ab}
	8	0.31 ^a
	12	0.23 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulumn with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

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

Table 13- Comparison the mean effects Sheep Manure on rainfed barley fodder p and k

کود گوسفندی Sheep Manure (ton h ⁻¹)	فسفر علوفه Fodder P (%)	پتاسیم علوفه Fodder K
0	0.10 ^b	1.28 ^b
3	0.11 ^b	1.51 ^{ab}
6	0.12 ^a	1.63 ^a
9	0.11 ^{ab}	1.60 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر عامل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each coulumn with the same letter in each column for each factor are not significantly different.

کود گوسفندی با افزایش زیست‌توده 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 می‌کند، که نقش مهمی در چرخه فسفر خاک دارد (Rezai *et al.*, 2013). از طرفی زیست‌توده میکروبی با افزایش مواد ارگانیک در خاک، قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می‌دهد. این فرآیند منجر به آزادسازی CO₂ و تشکیل اسیدکربنیک می‌شود که فسفر معدنی را حل کرده و فسفر قابل جذب برای گیاهان را افزایش می‌دهد. (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 (Ermana et al., 2024). زئولیت‌ها توانایی جذب یون‌ها، از جمله فسفر، را دارند که می‌تواند 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 دانه‌ها کمک می‌کند و در تشکیل دانه نقش مهمی ایفا می‌کند (Zheng et al., 2019)، بنابراین فراهمی این عناصر سبب افزایش میزان فسفر در دانه جو شده است. همچنین زئولیت‌ها می‌توانند به بهبود ساختار خاک و افزایش جذب فسفر توسط ریشه‌های گیاهان کمک کنند، که این امر به بهینه‌سازی استفاده گیاهان از فسفر منجر می‌شود (Cataldo et al., 2021). گزارش شده است که به‌علت نقش مثبت زئولیت بر تنظیم اسیدیته خاک، کاربرد آن همراه با کودهای دامی به‌طور قابل توجهی موجب بهبود جذب و کارایی عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام‌های 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 داده‌ها نشان داد که پتاسیم دانه تحت تأثیر کود زئولیت، کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت $\times$ کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد و پتاسیم علوفه فقط تحت تأثیر کود گوسفندی در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱۰). مقایسه میانگین کود زئولیت $\times$ کود گوسفندی بر پتاسیم دانه نشان داد که بیشترین میزان این صفت با میانگین $1/78$ 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 به‌میزان 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 هکتار زئولیت، تیمارهای ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی با کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین کود گوسفندی بر پتاسیم علوفه، بیشترین میزان پتاسیم علوفه با میانگین‌های $1/63$ و $1/60$ درصد به‌ترتیب به تیمارهای ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی اختصاص یافت که نسبت به تیمار شاهد ۲۱ درصد پتاسیم علوفه را افزایش داد (جدول ۱۳).

پتاسیم در افزایش محتوای نشاسته، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، بهبود فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌ها، تقویت سنتز پروتئین، کربوهیدرات‌ها و روغن نقش مهمی دارد. همچنین، این عنصر به افزایش توانایی گیاهان در مقابله با آفت‌ها و بیماری‌ها کمک می‌کند (Perry et al., 2010). نتایج تحقیقی نشان داد که افزایش جذب پتاسیم با رشد سبزینه‌ای گیاه و جذب نیتروژن و فسفر ارتباط مستقیم دارد (Choudhury & Khanif, 2011). به‌نظر می‌رسد 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 می‌بخشد. گزارش شده است که فراهمی پتاسیم در ریزوسفر گیاه به‌دلیل 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). مجید و شهبازی (Majidi & Shahbazi, 2020) در آزمایشی نشان دادند که واکنش محتوای پتاسیم دانه به سطوح کود گوسفندی افزایشی بود. براین اساس هنگامی که ۱۰۰ درصد کود گوسفندی مصرف شد محتوای پتاسیم دانه حدود $0/45$ درصد به دست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود موجب افزایش ۳۲ درصدی پتاسیم در گندم شد. علاوه‌بر

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 کانی‌های فسفره و افزایش غلظت فسفر در خاک می‌شود. این فرآیندها، یعنی تبادل کاتیونی و حلالیت کانی‌های 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. محققین در بررسی اثر زئولیت بر جذب عناصر غذایی گزارش کردند که با توجه به اینکه پتاسیم یکی از اجزای اصلی زئولیت می‌باشد، بنابراین افزایش جذب پتاسیم به وسیله توده گیاهی منطقی به نظر می‌رسد (Jami *et al.*, 2017).

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 بخشیدند. 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 می‌رسد کود آلی و زئولیت موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد جو شده‌اند. 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 می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و تولید پایدار گیاه ایفا کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد خرم‌آباد بابت راهنمایی و کمک‌هایشان در طول پروژه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

- 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. <https://dx.doi.org/10.21608/aasj.2020.159627>
- 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>
- 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).
- 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>
- 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>
- 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>
- Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., Hosseiniapanahi, 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>
- 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>
- 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://doi.org/10.1001.1.15625540.1400.23.2.1.7>
- 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.
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.21608/jssae.2022.122224.1051>
- 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>
- Elsawy, 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.
<https://doi.org/10.21608/ejar.2023.194831.1368>
- 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>
- FAO. (2023). World Food and Agriculture Statistical Pocketbook . Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.21608/EAJBSH.2021.161607>
- 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.
- Hassan, M. U., Shah, S. T., Basit, A., Hikal, 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>
- Hazrati, S., Khoorizadeh, 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. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.059>
- 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).
- 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>
- 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/JMRA.2020.122261>
- 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>
- Kordala, N., & Wyszowski, M. (2024). Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications. *Molecules*, 29(5), 1069. <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>
- 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>
- 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>

- 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>
- 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>
- Makvandi, M., Bakhshandeh, 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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).
- 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).
- 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>
- 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. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/5.3.234-245>
- 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>
- Perry, J. N., Devos, Y., Arpaia, S., Bartsch, D., Gathmann, A., Hails, R. S., Kiss, J., Lheureux, K., Manachini, B., Mestdag, 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>
- Rehakova, M., Cuvanová, 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>
- 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).

- 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>
- 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. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i163169>
- 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>
- 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>
- Shahdikumleh, A., Seyedi, S. R., & Haghighi, A. (2021). Effect of organic fertilizer use on the yield of Hashemi and Gilaneh rice cultivars. *Shalzar*, 4, 34-39. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1400.23.3.6.4>
- 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
- 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.
- 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.
- Yang, C., Du, W., Zhang, L., and 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>
- 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/10.6.2019.jms/22124.10>
- 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>
- 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>