



(OPEN ACCESS)

**The effect of natural zeolite and enriched zeolite
with ammonium on yield, yield component and concentration
of some nutrients in soil and rapeseed**

**Maedeh Agooshi^{*1}, Mohammad Ali Bahmanyar², Mehdi Ghajar Sepanlou³,
Seyed Mostafa Emadi⁴**

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: maedeh_agooshi@yahoo.com
2. Professor, Dept. of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mali.bahmanyar@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: sepanlu@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mostafaemadi@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 11.09.2024

Revised: 01.19.2025

Accepted: 01.31.2025

Keywords:

Ammonium sulphate,
Enriched zeolite,
Grain yield,
Nitrogen,
Rapeseed

ABSTRACT

Background and Objectives: Researchers are trying to reduce the harmful effects of chemical fertilizers and applying as possible in the soil to meet the nutritional needs of plants. The use of mineral amendments such as zeolite, is seen as a potential step towards achieving sustainable agriculture. The objective of this research was conducted with the aim of determine the impact of zeolite and enriched zeolite on rapeseed yield, component yields and concentration of some nutrients in soil and rapeseed seed in two soils with different textures.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a split plot in pots conditions in three replicates in the research greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2022. In this experiment, the main factors include two types of soils (silty clay loam and sandy loam) and the secondary factors in twelve levels include the control (without zeolite and ammonium sulphate fertilizer), 108 and 153 mg kg⁻¹ ammonium sulphate fertilizer, 2, 4 and 6 gr zeolite with 108 mg kg⁻¹ ammonium sulphate, 2, 4 and 6 gr zeolite with 153 mg kg⁻¹ ammonium sulphate and 2, 4 and 6 gr enriched zeolite were considered. The amount of ammonium sulfate fertilizer was determined according to the soil test and zeolite was enriched by ion saturation method. Data analysis was done in the Statistic software and the mean comparisons were made by LSD test.

Results: The results showed that the effects of the amendment treatments were significant on all studied traits except soil and grain phosphorus. the highest amount of grain yield (7.68 gr) was observed in silty clay loam soil and 6 gr zeolite with 153 mg kg⁻¹ ammonium sulphate (T₆). The highest percentage of oil grain (36.37%) was observed in blank and the lowest percentage of oil grain (34.51%) was observed in 153 mg kg⁻¹

ammonium sulphate (T_2). The thousand grain weight (4.06 gr) and grain nitrogen (4.68 %) were significantly affected by 153 mg kg^{-1} ammonium sulphate (T_2). The results also revealed that 6 gr zeolite with 153 mg. kg ammonium sulphate (T_8) had the most affected on nitrogen and potassium in soil.

Conclusion: According to the results of the present study, the highest amount of grain yield was a result of interaction of silty clay loam texture and 6 gr zeolite with 153 mg kg^{-1} ammonium sulphate (T_8). All studied traits in soil with silty clay loam texture are more than soil with sandy loam texture. The best results were obtained in 6 gr zeolite with 153 mg kg^{-1} ammonium sulphate (T_8) and among the enriched zeolite treatments, application of 4 gr enriched zeolite with ammonium was the most effective treatment. It can be concluded that the combined use of zeolite and ammonium sulphate can be a suitable solution for improving rapeseed yield.

Cite this article: Agooshi, Maedeh, Bahmanyar, Mohammad Ali, Ghajar Sepanlou, Mehdi, Emadi, Seyed Mostafa. 2025. The effect of natural zeolite and enriched zeolite with ammonium on yield, yield component and concentration of some nutrients in soil and rapeseed. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (3), 139-154.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22935.2166

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تأثیر زئولیت طبیعی و غنی شده با آمونیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در خاک و گیاه کلزا

مائده آگوشی^{1*}، محمدعلی بهمنیار²، مهدی قاجار سپانلو³، سید مصطفی عمادی⁴

1. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: maedeh_agooshi@yahoo.com
2. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mali.bahmanyar@gmail.com
3. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: sepanlu@yahoo.com
4. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mostafaemadi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: سابقه و هدف: پژوهش گران در تلاش برای کاهش اثرات زیان بار مصرف کودهای شیمیایی و کاربرد هرچه بیش تر از منابع معدنی در خاک برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان هستند. کاربرد اصلاح کننده های طبیعی مانند زئولیت می تواند گامی در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار محسوب شود. این پژوهش با هدف تعیین اثر کاربرد زئولیت و زئولیت غنی شده با آمونیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی از عناصر غذایی در خاک و گیاه کلزا در دو خاک با بافت متفاوت انجام شد. تاریخ دریافت: 1403/08/19 تاریخ ویرایش: 1403/10/30 تاریخ پذیرش: 1403/11/12	مواد و روش ها: این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در سه تکرار و در شرایط گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال 1401 انجام شد. عامل اصلی شامل دو نوع خاک (لوم شنی و لوم رسی سیلتی) و عامل فرعی در دوازده سطح شامل شاهد (بدون زئولیت و کود سولفات آمونیوم)، کود سولفات آمونیوم در دو سطح 108 و 153 میلی گرم در کیلوگرم، کاربرد 2، 4 و 6 گرم زئولیت به همراه 108 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم و 2، 4 و 6 گرم زئولیت به همراه 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم و 2، 4 و 6 گرم زئولیت غنی شده با آمونیوم در نظر گرفته شد. مقادیر استفاده از کود سولفات آمونیوم بر طبق نتایج آزمایش خاک تعیین گردید و زئولیت به روش اشباع یونی غنی سازی شد. داده ها در نرم افزار Statistic آنالیز شدند و مقایسه میانگین ها با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) انجام شد.

واژه های کلیدی:

زئولیت غنی شده،
سولفات آمونیوم،
عملکرد دانه،
کلزا،
نیترژن

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر تیمار اصلاح‌کننده بر تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز فسفر دانه و خاک معنی‌دار شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی و تیمار ۶ گرم زئولیت در کیلوگرم به‌همراه ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T₈)، (۷/۶۸ گرم) مشاهده شد. تیمار ۶ گرم زئولیت در کیلوگرم به‌همراه ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T₈)، سبب افزایش ۳۶ درصدی تعداد غلاف نسبت به تیمار شاهد شد. بیش‌ترین درصد روغن دانه در تیمار شاهد (۳۶/۳۷ درصد) و کم‌ترین آن در تیمار ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₂)، (۳۴/۵۱ درصد) مشاهده شد. در تیمار ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T₂)، وزن هزاردانه (۴/۰۶ گرم) و نیتروژن دانه (۴/۶۸ درصد) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شاهد بود. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار نیتروژن و پتاسیم خاک در تیمار ۶ گرم زئولیت در کیلوگرم به‌همراه ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T₈) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، بیش‌ترین عملکرد دانه نتیجه اثر متقابل تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی و تیمار ۶ گرم زئولیت به‌همراه ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T₈) بود. تمامی صفات مورد مطالعه در خاک با بافت لوم رسی سیلتی بیش‌تر از خاک با بافت لوم شنی بود. بهترین نتایج در تیمار ۶ گرم زئولیت در کیلوگرم به‌همراه ۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₈) به‌دست آمد و در میان تیمارهای مقادیر مختلف زئولیت غنی‌شده، تیمار ۴ گرم زئولیت غنی‌شده با آمونیوم مؤثرترین تیمار بر صفات مورد مطالعه بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت کاربرد توام زئولیت و کود سولفات آمونیوم می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود عملکرد کلزا باشد.

استناد: آگوشی، مائده، بهمنیار، محمدعلی، قاجار سپانلو، مهدی، عمادی، سید مصطفی (۱۴۰۴). تأثیر زئولیت طبیعی و غنی شده با آمونیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در خاک و گیاه کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۵ (۳)، ۱۵۴-۱۳۹.

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22935.2166



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی به‌شمار می‌روند. در حال حاضر، بیش از 84 درصد مصرف داخلی روغن خوراکی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود (1). کلزا با نام علمی *Brassica Napus* از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که در سطح دنیا جهت استخراج روغن کشت شده و از بیش‌ترین میزان رشد سالیانه از لحاظ سطح زیر کشت در میان گیاهان دانه روغنی مهم جهان برخوردار است. کلزا پس از سویا و نخل روغنی، سومین منبع تولید روغن گیاهی در جهان به‌شمار رفته و حدود 14/7 درصد از کل روغن گیاهی مصرفی دنیا را تأمین می‌کند. کلزا در بین دانه‌های روغنی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های زراعی متنوع و منحصر به فرد و نیز به خاطر درصد روغن و پروتئین کنجاله بالا از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (2). امروزه کشاورزی مدرن با چالش یافتن روش‌های نوین در جهت افزایش تولیدات گیاهی با کم‌ترین خطر برای سلامت محیط زیست و انسان‌ها مواجه است (3). یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود کارایی مصرف کودهای شیمیایی و کاهش اتلاف آن‌ها موردتوجه قرار گرفته، استفاده از اصلاح‌کننده‌های طبیعی مانند زئولیت در اراضی کشاورزی می‌باشد (4). زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاته هیدراته از کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی بوده که دارای یک ساختار سه‌بعدی نامحدود از چهارضلعی‌های SiO_4 و AlO_4 می‌باشند. جایگزینی هم‌شکل آلومینیوم به جای سیلیسوم باعث ایجاد بار منفی در ساختار این کانی می‌شود. بار منفی زئولیت باید به وسیله کاتیون‌های قابل تبادل خنثی شود که این موضوع خود باعث ایجاد ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی در این کانی می‌شود (5). زئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و توانایی بالای جذب

آمونیوم، سبب کاهش تبدیل آمونیوم به نیترات و به‌دنبال آن کاهش آبشویی نیترات در خاک می‌شود (4). هم‌چنین زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته، به‌طوری‌که تا 70 درصد وزن خود آب جذب می‌کند و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد (6). لطیفا و همکاران (2017) بیان کردند که قابلیت دسترسی آمونیوم و نیترات با کاربرد 0/192 کیلوگرم در هکتار زئولیت، افزایش یافت (7). متقی و همکاران (2019) هم به بررسی اثر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا پرداختند و نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت به مقدار 10 تن در هکتار با بهبود شرایط رشد گیاه، عملکرد دانه را 23 درصد افزایش داد (8). پندیت و همکاران (2020) بیان کردند که با مصرف 9 تن در هکتار زئولیت به همراه 120 کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بیش‌ترین مقدار نیتروژن قابل دسترس به‌دست آمد (9). راوالی و همکاران (2020) گزارش کردند که کاربرد زئولیت در سطح 7/5 تن در هکتار و سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن شامل 100، 150 و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیترات و آمونیوم در خاک، جذب نیتروژن در اندام هوایی، کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه ذرت شد (10). جذب انتخابی و آزادسازی تدریجی عناصری مانند پتاسیم و آمونیوم توسط زئولیت باعث می‌شود از طریق فراهمی طولانی‌مدت عناصر غذایی و رطوبت، به بهبود رشد گیاه کمک کند (11). در نتیجه زئولیت با قابلیت غنی‌شدن با کاتیون‌هایی مانند آمونیوم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سایر عناصر می‌تواند با آزادسازی تدریجی عناصر از کانال‌های خود، سبب بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و کاهش اتلاف عناصر غذایی شود (12). پلین و همکاران (2019) به بررسی اثر کاربرد زئولیت غنی‌شده با نیتروژن به عنوان کود نیتروژنی

پرداختند و نتایج بررسی‌ها نشان داد میزان جذب نیتروژن در تیمارهای ژئولیت غنی‌شده در مقایسه با شاهد افزایش یافت و کاربرد سه گرم ژئولیت غنی‌شده میزان عملکرد بیومس و جذب نیتروژن در گیاه را به ترتیب 4 برابر و 6 برابر افزایش داد (13). هم‌چنین محراب و همکاران (2016) بیان کردند که با کاربرد ژئولیت غنی‌شده با آمونیوم میزان اتلاف نیتروژن را کاهش و دستیابی آن برای گیاه گندم را افزایش داد (14). خصوصیات فیزیکی خاک، به دلیل نقش مهمی که در حمایت از رشد گیاه دارد، دارای اهمیت است. این خصوصیات، تعیین کننده چگونگی اثر متقابل گیاه با خاک، جذب آب و مواد غذایی و نفوذ ریشه‌ها می‌باشد. از میان خصوصیات فیزیکی خاک، بافت خاک دارای تأثیر زیادی است (15). به دلیل تنوع بافت خاک و تأثیر آن بر سایر ویژگی‌های خاک و هم‌چنین تأثیر نوع بافت خاک بر نقش اصلاح‌کننده‌ها، بررسی تأثیر ژئولیت در خاک‌های با بافت سبک و سنگین ضرورت دارد. با توجه به اثرات سودمند ژئولیت و افزایش پتانسیل آن از طریق غنی‌سازی، ارزانی و فراوانی معادن آن‌ها در ایران و با توجه به اهمیت سلامت خاک، بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و اهمیت کشت کلزا در استان مازندران ضرورت مطالعه بر شاخص‌های عملکردی کلزا آشکار می‌شود. هدف از این مطالعه اثر کاربرد ژئولیت طبیعی و غنی‌شده با آمونیوم در دو خاک با بافت متفاوت بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه کلزا بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت اسپلیت پلات در سه تکرار و به صورت گلدانی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال 1401 انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی (S) خاک با بافت لوم شنی

(S₁) و خاک با بافت لوم رسی سیلتی (S₂) و عامل فرعی (T) در 12 تیمار که شامل شاهد (T₀)، 108 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₁)، 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₂)، 2 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 108 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₃)، 4 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 108 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₄)، 6 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 108 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₅)، 2 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₆)، 4 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₇)، 6 گرم ژئولیت در کیلوگرم + 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₈)، 2 گرم ژئولیت غنی‌شده با آمونیوم در کیلوگرم (T₉)، 4 گرم ژئولیت غنی‌شده با آمونیوم در کیلوگرم (T₁₀) و 6 گرم ژئولیت غنی‌شده با آمونیوم در کیلوگرم (T₁₁)، در مجموع 72 گلدان در نظر گرفته شد. مقادیر استفاده از کود سولفات آمونیوم بر طبق نتایج آزمایش خاک تعیین شد. لازم به ذکر است مقدار 108 میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات آمونیوم مطابق توصیه آزمون خاک و 135 میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات آمونیوم، 25 درصد بیش‌تر از توصیه آزمون خاک می‌باشد. ژئولیت به روش اشباع یونی غنی‌سازی شد. ابتدا ژئولیت توسط الک شماره 35 به اندازه 0/5 میلی‌متر جدا شد. سپس ژئولیت با استفاده از آب مقطر (نسبت 1:10) شسته و در هوای آزاد خشک گردید. 5 گرم ژئولیت جداگانه در 25 میلی‌لیتر محلول 1 مولار کلرید آمونیوم به مدت 24 ساعت نگهداری شد و پس از 30 دقیقه بهم‌زدن و پنج دقیقه سانتریفیوژ با 3000 دور در دقیقه، محلول رویی دور ریخته شد. سه مرتبه این عمل تکرار شد و شستشو با آب مقطر جهت رفع نمک‌های اضافه صورت گرفت و در نهایت

زئولیت غنی شده با آمونیوم در آون در دمای 50 درجه سانتی گراد خشک و آماده گردید (16). پس از تهیه زئولیت غنی شده، درصد عناصر تشکیل دهنده آن با دستگاه فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) تعیین گردید (جدول 2).

جدول 1- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه.

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

پتاسیم قابل دسترس Available K	فسفر قابل دسترس Available P	نیترژن کل Total N	قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	pH	ماده آلی (OM)	کربن آلی (OC)	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	چگالی ظاهری Bulk density	بافت خاک Soil texture	ویژگی Property
mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	%	dS.m ⁻¹	-	%	%	%	%	%	gr.cm ⁻³	-	واحد Unit
112	10.43	0.09	1.19	7.82	1.41	0.82	60	26	14	1.40	لوم شن Sandy loam	S ₁
168	14.51	0.12	0.71	7.40	2.12	1.23	22	47	31	1.24	لوم رسی سیلتی Silty clay loam	S ₂

اردیبهشت 1402 برداشت کلزا انجام شد و سپس از دانه و خاک گلدان ها نمونه برداری شد. نیتروژن خاک و دانه به روش کلدال (17)، فسفر دانه (18) و فسفر خاک به روش اولسن (19) و پتاسیم دانه و خاک با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل داده های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار Statistic مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از روش آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

به منظور آماده سازی گلدان ها، با توجه به حجم گلدان ها و چگالی ظاهری خاک های مورد آزمایش، مقدار خاک مورد نیاز برای هر گلدان محاسبه شد و به گلدان ها انتقال داده شد. پس از اعمال تیمارها، در هر گلدان ده بذر جوانه دار کلزا در آبان سال 1401 کاشته شد و پس از پنج برگی شدن به سه بوته تنک گردید. عملیات آبیاری و وجین علف های هرز با دست انجام گرفت. گلدان ها دارای زهکش بودند و رطوبت خاک گلدان ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت زراعی به روش وزنی تامین شد. در

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی زئولیت خام و غنی‌شده.

Table 2. Selected chemical characteristics of raw and enriched zeolite.

نمونه	pH	EC (dS.m ⁻¹)	CEC (Cmol ⁺ Kg ⁻¹)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	N (%)
زئولیت خام Raw zeolite	7.9	0.6	135	68.32	10.27	0.73	2.73	0.91	1.43	2.12	0.03
زئولیت غنی‌شده Enriched zeolite	7.9	0.5	112	67.9	10.26	0.72	2.65	0.19	1.31	1.55	2.51

نتایج و بحث

نیتروژن خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر نوع خاک و اثر تیمار اصلاح‌کننده بر غلظت نیتروژن خاک معنی‌دار بود (جدول 3). بیش‌ترین مقادیر نیتروژن خاک در تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی بود (جدول 5). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک در خاک با بافت لوم رسی سیلتی مشاهده شد که با توجه به نتایج اولیه آزمایش خاک (جدول 1) قابل پیش‌بینی بود (جدول 5). هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک در تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم و

153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₈) و کم‌ترین آن در تیمار شاهد بود (جدول 6). کاربرد 4 گرم زئولیت غنی‌شده با آمونیوم در یک کیلوگرم خاک (T₁₀) در بین تیمارهای زئولیت غنی‌شده بیش‌ترین تأثیر را بر نیتروژن خاک داشت. فرتی و همکاران (2024) بیان کردند که زئولیت غنی‌شده با آمونیوم می‌تواند منبع مناسبی از نیتروژن به‌خصوص در خاک‌های با بافت لوم شنی باشد و علاوه بر تامین نیاز گیاه از اتلاف آن جلوگیری نماید (20).

جدول 3- نتیجه تجزیه واریانس غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و دانه کلزا.

Table 3. analysis of variance of the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium elements in soil and rapeseed grain.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نیتروژن خاک Soil nitrogen	فسفر خاک Soil phosphorus	پتاسیم خاک Soil potassium	نیتروژن دانه Grain nitrogen	فسفر دانه Grain phosphorus	پتاسیم دانه Grain potassium
تکرار Replication	2	0.00004	0.002	4.2	0.47	0.00023	0.04
نوع خاک Soil type	1	0.033 ^{**}	337.74 ^{**}	58083.7 ^{**}	1.19 [*]	0.399 ^{**}	0.48 ^{ns}
خطا تکرار * نوع خاک Error replication* soil type	2	0.00014	0.001	15.8	0.04	0.00037	0.06
تیمار اصلاح‌کننده Amendment treatment	11	0.00072 ^{**}	0.004 ^{ns}	201.3 ^{**}	1.48 ^{**}	0.0035 ^{ns}	0.14 ^{**}
نوع خاک * تیمار اصلاح‌کننده Soil type*amendment treatment	11	0.00005 ^{ns}	0.003 ^{ns}	9.20 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.00351 ^{ns}	0.03 ^{ns}
خطا تکرار * نوع خاک * تیمار اصلاح‌کننده Error replication*soil type*amendment treatment	44	0.00006	0.065	5.00	0.08	0.00275	0.03
ضریب تغییرات (تکرار * نوع خاک) CV (replication*soil type)		11.08	2.33	2.76	5.09	3.05	10.65

^{**}، ^{*}، ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم متفاوت معنی‌دار می‌باشد

^{**}، ^{*} and ^{ns} represent significant effect at P<0.01, P<0.05 and no significant effect, respectively

فسفر خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها تیمار نوع خاک بر فسفر خاک معنی دار شد ($P<0/01$) (جدول 3). بیشترین مقادیر فسفر خاک ($13/72$ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک با بافت لوم رسی سیلتی مشاهده شد که با توجه به نتایج اولیه آزمایش خاک (جدول 1) مورد انتظار بود (جدول 5).

پتاسیم خاک: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر نوع خاک بر پتاسیم خاک معنی دار گردید ($P<0/01$). همچنین اثر تیمار اصلاح کننده بر پتاسیم خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد ($P<0/01$) (جدول 3). در تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم به همراه 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_8)، بیشترین مقدار پتاسیم خاک ($153/67$ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول 6). زئولیت در خاک‌های که قدرت تثبیت بالای پتاسیم را دارند و همچنین در خاک‌های با بافت سبک، پتاسیم را در فاز تبادلی نگه داشته و از تثبیت و آبشویی آن جلوگیری می‌کند و می‌تواند با افزایش سطح پتاسیم قابل جذب، فراهمی پتاسیم برای گیاه را افزایش دهد (21). لی و همکاران (2022) بیان کردند که کاربرد زئولیت به تنهایی و یا به همراه کود پتاسیمی سبب افزایش پتاسیم خاک و همچنین افزایش جذب پتاسیم در گیاه برنج گردید (12).

نیتروژن دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر نوع خاک و اثر تیمار اصلاح کننده بر غلظت نیتروژن دانه معنی دار بود (جدول 3). بیشترین مقادیر نیتروژن دانه در تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی بود (جدول 5). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار اصلاح کننده بر نیتروژن دانه نشان دهنده افزایش آن در اثر کاربرد 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_2) به مقدار $4/68$ درصد و 4 گرم زئولیت در کیلوگرم + 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_7) به مقدار $4/60$ درصد بود که با هم

اختلاف معنی داری نداشتند. به نظر می‌رسد با افزایش مقادیر زئولیت بخشی از نیتروژن خاک توسط زئولیت جذب شده و از دسترس گیاه خارج شده است. زئولیت به دلیل داشتن منافذ ریز در ساختار خود، آمونیوم را در منافذ خود نگه داشته و آمونیوم از نظر فیزیکی برای باکتری‌های نیتریفیکاتور به شکل غیرقابل دسترس می‌ماند و در نتیجه زئولیت می‌تواند به عنوان عامل کندرها برای کودهای نیتروژنی عمل کند که سبب کاهش اتلاف نیتروژن می‌گردد (7). همچنین در سطوح مختلف زئولیت غنی شده، در مقدار نیتروژن دانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در بین تیمارهای زئولیت غنی شده بیشترین مقدار نیتروژن دانه در تیمار 4 گرم زئولیت غنی شده با آمونیوم در یک کیلوگرم خاک (T_{10}) ($3/91$ درصد) که نسبت به شاهد ($2/9$ درصد)، 34 درصد افزایش نشان داد. افزایش غلظت نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت می‌تواند به دلیل نگهداشت نیتروژن و کاهش اتلاف آن و به دنبال آن افزایش نیتروژن کل خاک و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک باشد. نتایج این پژوهش با نتایج دستباز و همکاران (2023) و راوالی و همکاران (2020)، مشابه بود (22، 10).

فسفر دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها تیمار نوع خاک بر فسفر دانه معنی دار شد ($P<0/01$) (جدول 3). بیشترین مقادیر فسفر دانه ($0/7$ درصد) در خاک با بافت لوم رسی سیلتی مشاهده شد که با توجه به نتایج اولیه آزمایش خاک (جدول 1) مورد انتظار بود (جدول 5).

پتاسیم دانه: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر تیمار اصلاح کننده بر پتاسیم دانه معنی دار گردید ($P<0/01$) (جدول 3). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار پتاسیم دانه در تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم به همراه 108 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_5) ($2/63$ درصد) که

نسبت به تیمار شاهد 19 درصد افزایش نشان داد درحالی که تفاوت معنی داری با سطوح مختلف زئولیت و کود سولفات آمونیوم نداشت. با توجه به این که در این آزمایش کاربرد زئولیت نسبت به شاهد سبب افزایش معنی داری بر پتاسیم خاک گردید، افزایش پتاسیم دانه مورد انتظار بود.

تعداد غلاف: طبق نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اصلاح کننده در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد اما اثر نوع خاک و اثر متقابل نوع خاک و تیمار اصلاح کننده، تفاوت معنی داری را نشان نداده است (جدول 4). مقایسه میانگین تیمار اصلاح کننده بر تعداد غلاف نشان داد که اگر چه تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم به همراه 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_8) با تیمار 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_2) تفاوت معنی داری

نداشت اما تأثیر بیش تری نسبت به سایر اصلاح کننده ها داشت و با افزایش 36 درصدی نسبت به شاهد بیش ترین تعداد غلاف مشاهده شد. به نظر می رسد در تیمارهای زئولیت به همراه کود سولفات آمونیوم، بخشی از آمونیوم در فضا و منافذ درونی زئولیت تثبیت و سبب کاهش فراهمی آن برای گیاه شد که با نتایج پژوهش های آندو و همکاران (1996) مطابقت داشت (23). در بین تیمارهای زئولیت غنی شده بیش ترین تعداد غلاف با مصرف 6 گرم زئولیت غنی شده به دست آمد (84/16 گرم) که نسبت به کم ترین آن در تیمار 2 گرم زئولیت غنی شده (77/33 گرم)، 9 درصد افزایش نشان داد (جدول 6). حیدرپور و همکاران (2022) نیز بیان کردند که کاربرد 10 درصد زئولیت سبب افزایش 35 درصدی تعداد غلاف در بوته سویا گردید (24).

جدول 4- نتیجه تجزیه واریانس عملکرد دانه و اجزای عملکرد گیاه کلزا.

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

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف Pod number	وزن هزار دانه Thousand grain weight	روغن دانه Grain oil	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	1.51	0.062	0.041	0.18
نوع خاک Soil type	1	2.76 ^{ns}	0.48*	2.82*	7.04**
خطا تکرار * نوع خاک Error replication* soil type	2	0.23	0.02	0.071	0.02
تیمار اصلاح کننده Amendment treatment	11	5.86**	0.65**	1.69**	2.97**
نوع خاک * تیمار اصلاح کننده Soil type*amendment treatment	11	1.49 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.19*
خطا تکرار * نوع خاک * تیمار اصلاح کننده Error replication*soil type*amendment treatment	44	2.07	74.4	0.11	0.09
ضریب تغییرات (تکرار * نوع خاک) CV (replication*soil type)		17.03	2.54	3.76	2.7

ns، *، ** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم متفاوت معنی دار می باشد

ns، * and ** represent significant effect at $P<0.01$, $P<0.05$ and no significant effect, respectively

ژئولیت و سولفات آمونیوم اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 6). اگرچه وزن هزاردانه یک صفت ژنتیکی است، با این حال به نظر می‌رسد که در صورت تغذیه مناسب گیاه با نیتروژن، به دلیل نقش تعیین‌کننده نیتروژن در توسعه پوشش گیاهی و سطح سبز گیاه، تولید مواد فتوسنتزی و ذخیره آن‌ها در دانه افزایش یافته و دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌شود. نتایج یافته‌های سایر پژوهش‌گران نیز نشان‌دهنده افزایش وزن هزاردانه با افزایش مصرف نیتروژن می‌باشد (25، 26 و 27). سیبی و همکاران (2011) بیان کردند که وزن هزاردانه تحت تأثیر سطوح مختلف ژئولیت قرار نگرفت (28).

وزن هزاردانه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک در سطح احتمال پنج درصد و اثر تیمار اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر متقابل نوع خاک و تیمار اصلاح‌کننده، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول 4). بیش‌ترین وزن هزاردانه در خاک لوم رسی سیلتی به مقدار 3/81 گرم در گلدان که از مقدار آن در خاک لوم شنی بیش‌تر بود (جدول 5). نتایج مقایسه میانگین وزن هزاردانه در تیمارهای اصلاح‌کننده نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_2)، (4/06 گرم در گلدان) مشاهده شد که با تیمارهای سطوح مختلف

جدول 5- مقایسه میانگین اثر نوع خاک غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک و دانه، وزن هزاردانه و روغن دانه.

Table 5. Mean comparison effect of soil type on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium elements in soil and grain, thousand grain weight and grain oil.

روغن دانه (درصد) Grain oil (%)	وزن هزاردانه (گرم در گلدان) Thousand grain weight (gr per pod)	فسفر دانه (درصد) Grain phosphorus (%)	نیتروژن دانه (درصد) Grain nitrogen (%)	پتاسیم خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Soil potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Soil phosphorus (mg kg ⁻¹)	نیتروژن خاک (درصد) Soil nitrogen (%)	نوع خاک Soil type
35.14 ^b	3.65 ^b	0.55 ^b	3.95 ^b	115.69 ^b	9.38 ^b	0.076 ^b	لوم شنی Sandy loam
35.54 ^a	3.81 ^a	0.70 ^a	4.21 ^a	172.50 ^a	13.72 ^a	0.129 ^a	لوم رسی سیلتی Silty clay loam

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است

Means followed with the same letters in each column are not significant at $P < 0.05$

اصلاح‌کننده بر درصد روغن نشان داد که بیش‌ترین درصد روغن دانه در تیمار شاهد به مقدار 36/37 درصد و کم‌ترین آن در تیمار 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_2) به مقدار 34/51 درصد مشاهده شد (جدول 6). نتایج اغلب آزمایش‌ها نشان داده است که با افزایش مصرف نیتروژن از میزان روغن دانه کاسته می‌شود، زیرا با افزایش مصرف

درصد روغن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر نوع خاک در سطح پنج درصد و اثر تیمار اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول 4). مقایسه میانگین اثر نوع خاک نشان داد که بیش‌ترین درصد روغن دانه در خاک بافت لوم رسی سیلتی به مقدار 35/54 درصد به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین تیمار

عملکرد دانه: نتایج به دست آمده نشان داد که اثر نوع خاک، تیمار اصلاح کننده در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل نوع خاک و تیمار اصلاح کننده در سطح احتمال پنج درصد معنی دار گردید (جدول 4). بیش ترین عملکرد دانه در تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی و تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم به همراه 153 میلی گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T₈) به مقدار 7/68 گرم در گلدان، مشاهده شد.

نیترژن، مواد قابل دسترس برای سنتز اسیدهای چرب کاهش یافته و پیش ماده های پروتئین های نیترژن دار بیش تر شده و در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری به تشکیل پروتئین اختصاص یافته و تولید هیدرات های کربن کاهش می یابد که این موضوع سبب کاهش میزان روغن دانه می شود (29). نتایج این پژوهش با پژوهش های اپی و همکاران (2022) مطابقت داشت (30).

جدول 6- مقایسه میانگین اثر تیمارهای اصلاح کننده بر غلظت نیترژن و پتاسیم خاک و دانه و برخی اجزای عملکرد.

Table 6. Mean comparison of the effect of amendment treatments on concentration of nitrogen and potassium in soil and grain and some component yield.

روغن دانه (درصد) Grain oil (%)	وزن هزار دانه (گرم در گلدان) Thousand grain weight (gr per pod)	تعداد غلاف Pod number	پتاسیم دانه (درصد) Grain potassium (%)	نیترژن دانه (درصد) Grain nitrogen (%)	پتاسیم خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) Soil potassium (mg kg ⁻¹)	نیترژن خاک (درصد) Soil nitrogen (%)	تیمار اصلاح کننده
36.37 ^a	2.79 ^c	67.16 ^e	2.21 ^c	2.90 ^e	136.5 ^e	0.088 ^d	T ₀
35.30 ^{cde}	3.63 ^b	79.66 ^{cd}	2.47 ^{ab}	3.96 ^{cd}	136.17 ^e	0.101 ^{bc}	T ₁
34.51 ^h	4.06 ^a	90.86 ^a	2.36 ^{bc}	4.68 ^a	136.00 ^e	0.11 ^b	T ₂
35.61 ^{bc}	3.63 ^b	82.66 ^{bc}	2.34 ^{bc}	4.13 ^{bc}	144.00 ^{cd}	0.101 ^{bc}	T ₃
35.73 ^b	3.75 ^{ab}	81.00 ^{bcd}	2.61 ^a	3.87 ^{cd}	147.83 ^b	0.105 ^{bc}	T ₄
35.74 ^b	3.67 ^b	82.66 ^{bc}	2.63 ^a	4.21 ^{bc}	151.17 ^a	0.108 ^b	T ₅
35.00 ^{efg}	3.91 ^{ab}	92.76 ^a	2.57 ^a	4.46 ^{ab}	142.33 ^d	0.19 ^a	T ₆
34.64 ^{gh}	3.77 ^{ab}	91.16 ^a	2.53 ^{ab}	4.60 ^a	148.33 ^b	0.12 ^a	T ₇
34.89 ^{fgh}	3.84 ^{ab}	92.00 ^a	2.59 ^a	4.16 ^{bc}	153.67 ^a	0.122 ^a	T ₈
35.44 ^{bcd}	3.86 ^{ab}	78.33 ^d	2.22 ^c	3.89 ^{cd}	143.00 ^d	0.098 ^c	T ₉
35.72 ^b	3.83 ^{ab}	83.00 ^{bc}	2.33 ^{bc}	3.91 ^{cd}	146.33 ^{bc}	0.101 ^{bc}	T ₁₀
35.16 ^{def}	3.79 ^{ab}	84.16 ^b	2.33 ^{bc}	3.78 ^{cd}	143.83 ^{cd}	0.098 ^c	T ₁₁

ستون های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد است

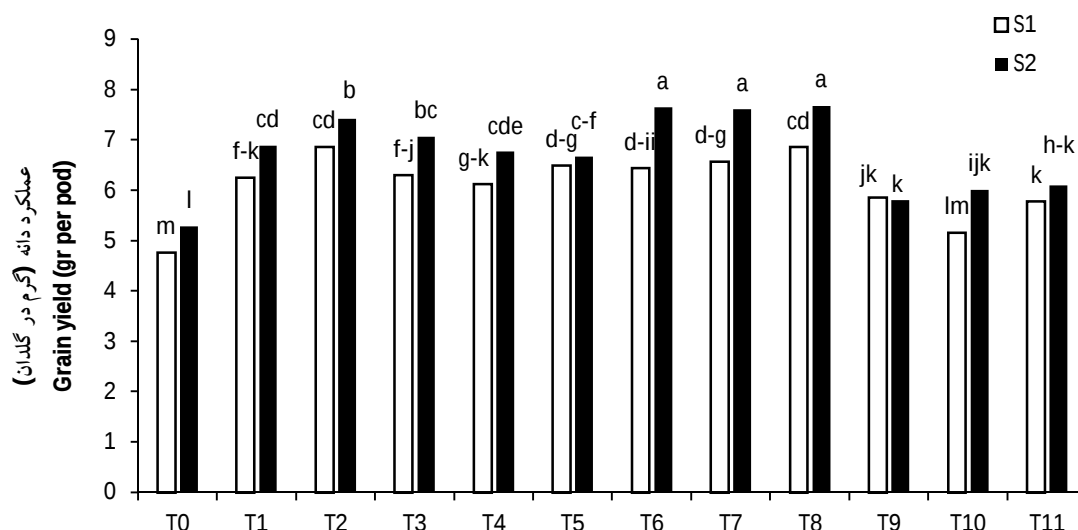
Means followed with the same letters in each column are not significant at P<0.05

افزایش نشان داد (شکل 1). با توجه به تفاوت در مقادیر عناصر غذایی و برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی در دو خاک مورد مطالعه، افزایش عملکرد در خاک لوم رس سیلتی قابل پیش بینی بود. به نظر

در بین تیمارهای زئولیت غنی شده بیش ترین عملکرد دانه در تیمار 6 گرم زئولیت غنی شده با آمونیوم در کیلوگرم (T₁₁) و در خاک لوم رسی سیلتی به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد 15 درصد

و نتایج نشان داد که مصرف زئولیت همراه با کود مؤثرترین تیمار بر عملکرد دانه کلزا بود (31). افندی و همکاران (2024) بیان کردند که کاربرد کود شیمیایی به همراه زئولیت سبب افزایش در عملکرد دانه ذرت شد (32).

می‌رسد در مرحله تشکیل دانه کاربرد زئولیت با نگهداشت عناصر غذایی در خاک سبب افزایش در وزن دانه و عملکرد آن گردید (7). زابکوا و همکاران (2022) اثر زئولیت، کود شیمیایی $N_{60}P_{60}K_{60}$ و زئولیت همراه با کود را بر عملکرد کلزا بررسی کردند



ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد است

Means followed with the same letters in each column are not significant at $P < 0.05$

شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده بر عملکرد دانه.

Figure 1. Mean comparison of the interaction effect of soil type and amendment treatments on grain yield.

در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم (T_2) تفاوت معنی‌داری نداشت. در بین تیمارهای زئولیت غنی‌شده، تیمار 4 گرم زئولیت غنی‌شده با آمونیوم مؤثرترین تیمار بر صفات مورد مطالعه بود. در مجموع نتایج این پژوهش بیانگر این است که مصرف زئولیت به عنوان یک اصلاح‌کننده معدنی به همراه کودهای شیمیایی نیتروژنی، در جهت افزایش عملکرد دانه و غلظت برخی عناصر غذایی در خاک توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد تمامی صفات مورد مطالعه در خاک با بافت لوم رسی سیلتی بیش‌تر از خاک با بافت لوم شنی بود. بیش‌ترین عملکرد دانه نتیجه اثر متقابل تیمار خاک با بافت لوم رسی سیلتی و تیمار 6 گرم زئولیت به همراه 153 میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات آمونیوم (T_8) بود. همچنین بیش‌ترین تعداد غلاف، نیتروژن و پتاسیم خاک در تیمار 6 گرم زئولیت در کیلوگرم به همراه 153 میلی‌گرم در کیلوگرم کود سولفات آمونیوم مشاهده شد که با تیمار 153 میلی‌گرم

منابع

1. Khaledian, P. (2021). The world of economics examines the oil industry: The opportunity to liberalize prices. *World Economy Newspaper*. Issue 5008. [In Persian]
2. Ranjbar, H. A., Shojaa, M. R., Sameie, H., Piraste Anooshe, H., & Salar, M. R. (2016). Influence of planting method and density on yield, yield components and oil percentage of rapeseed in different tillage systems. *Journal of Plant Ecophysiology*, 7 (23), 95-103. doi. 201001.1.20085958.1394.7.23.10. [In Persian]
3. Hazrati, S., Khurizadeh, S., & Sadeghi, A. R. (2022). Application of zeolite improves water and nitrogen use efficiency while increasing essential oil yield and quality of *Salvia officinalis* under water-deficit stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (3), 1707-1716. doi. org/10.1016/j.sjbs.2021.10.059.
4. Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). The use of zeolites as an addition to fertilisers—A review. *Catena*, 213, 106125. doi. 10. 1016/j.catena.2022.106125.
5. Mihok, F., Macko, J., Oriňak, A., Oriňaková, R., Koval', K., Sisáková, K., Petruš, O., & Kostecká, Z. (2020). Controlled nitrogen release fertilizer based on zeolite clinoptilolite: Study of preparation process and release properties using molecular dynamics. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 3, 100030. doi. org/10.1016/j.crgsc.2020.100030.
6. Collela, C., & Gualtieri, A. F. (2007). Cronstedt's zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 105, 213-221. doi. 10.1016/j.micromeso.2007.04.056.
7. Latifah, O., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. A. (2017). Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*, 306, 152-159. doi. 10.1016/j.geoderma.2017.07.012.
8. 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. *Plant Ecology*, 11 (36), 256-271. doi. 20.1001.1.20085958.1398.11.36.22.2. [In Persian]
9. Pandit, V. B., Jeevan Rao, K., Rajeshwar Naik, M., & Vidya Sagar, G. E. (2020). Effect of Different Levels of Nitrogen and Zeolite on Soil Properties and Soil Fertility for Rice Cultivation. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*, 21 (18), 1-9. doi. 10. 9734/irjpac/2020/v21i1830266.
10. Ravali, C. H., Rao, K. J., Anjaiah, T., & Suresh, K. (2020). Influence of zeolite on nitrogen fractions, nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of maize. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2, 297-307. doi. 10.9734/irjpac/2020/v21i2330327.
11. Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Bahamachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2021). Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety. *Agronomy*, 11, 448. doi. 10.3390/agronomy11030448.
12. Li, Y., Xia, G., Wu, Q., Chen, W., Lin, W., Zhang, Z., Chen, Y., Chen, T., Siddique, K., & Chi, D. (2022). Zeolite increase grain yield and potassium balance in paddy soil. *Geoderma*, 405, 115397. doi. 10.1016/j.geoderma. 2021.115397.
13. Pelin Kocaturk-Schumacher, N., Zwart, K., Bruun, S., Jensen, L.S., Sorensen, H., & Brussaard, L. (2019). Recovery of nutrients from the liquid fraction of digestate: Use of enriched zeolite and biochar as nitrogen fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182, 187-195. doi. 10.1002/jpln.2018 00271.
14. Mehrab, N., Chorom, M., & Hojati, S. (2014). The effect of NH_4^+ -Zeolite on growth characteristics of wheat and water use efficiency in two soil

- textures. *Agricultural Engineering Journal*, 37, 1-12. [In Persian]
15. Hakmizadeh, M. A., Haghjoo, M., Moradi, G. H., & Esfandiari, M. (2022). Investigating the effect of different soil textures on morphological characteristics and the amount of essential oil of *Lippia citriodora* medicinal plant. *Water and Soil Management and Modeling*, 3 (1), 14-25. doi. 10.22098/MMWS.2022.10991.1095. [In Persian]
 16. Park, M., & Komarneni, S. (1998). Ammonium nitrate occlusion vs. nitrate ion exchange in natural zeolites. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1455-1459. doi. 10.2136/sssaj1998.03615995006200050044x.
 17. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. P 595-624. In: R. H. Miller and D. R. Keeney (eds), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical Analysis*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
 18. Chapman, H. D., & Pratt F. P. (1961). Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. *Methods of analysis for soils, plants and water*. California University, Agriculture Division, 309p.
 19. Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. P 403-30, In: R. H. Miller and D. R. Keeney (eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison.
 20. Ferreti, G., Alberghini, M., Galamini, G., Medoro, V., Faccini, B., Balzan, S., & Coltorti, M. (2024). Exploring the combined effects of different nitrogen sources and chabazite zeolite-tuff on nitrogen dynamics in an acidic sandy-loam soil. *Soil System*, 8 (16), 1-18. doi. 10.3390/soilsystems8010016.
 21. Jaberian, F., Mahmoudi, Sh., Abtahi, S. A., & Esfandiari, M. (2016). Effect of zeolite on distribution of different soil potassium pools in Vertisols of Fars province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23 (4), 295-308. doi. 10.22069/JWFST.2016.9743.2404. [In Persian]
 22. Dastbaz, N., Ali Mohammadi, M., Karimi, A., & Salavati, S. (2023). Impact of zeolite and nitrogen application on nitrogen use efficiency, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Engineering*, 45 (4), 391-408. doi. 10.22055/agen.2023.43010.1655. [In Persian]
 23. Ando, H. C., Mihara, K. I., Kakuda, I., & Wada, G. (1996). The fate of ammonium nitrogen applied to flooded rice as affected by zeolite application. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 531-538.
 24. Heidarpour Saremi, Z., Daneshvar, M., Akbarpour, O., & Aali, A. (2022). Effect of zeolite and mycorrhiza application on physiological yield, yield components of soybean and accumulation of lead under soil polluted with lead. *Journal of Crop Ecophysiology*, 16 (62), 217-240. doi. 10.30495/JCEP.2022.1918977.1752. [In Persian]
 25. Ivanov, A., & Harizanova, A. (2022). The use of ammonium sulphate has an adjuvant effect on the productivity of oilseed rap (*Brassica napus* L.). *Agronomy*, 1, 379-385.
 26. Mirzapour, M. H., Khoshgoftarmanesh, A. H., Davoodi, M. H., & Koochebaghi, A. H. (2014). Effect of different amounts of nitrogen on growth and yield of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) in two saline soils. Iran. *Journal of Soil Resource*, 28 (1), 1-14. doi. 10.22092/IJSR.2019.120114. [In Persian]
 27. Panasiewicz, K., Faligowska, A., Szymanska, G., & Ratajczak, K. (2023). Optimizing the amount of nitrogen and seed inoculation to improve the quality and yield of soybean grown in the southeastern Baltic region. *Agriculture*, 13 (798), 1-11. doi. 10.3390/agriculture13040798.
 28. Sibi, M., Mirzakhani, M., & Gomarian, M. (2011). Effect of water stress, taking zeolite and salicylic acid on yield and yield components of spring safflower. *New Findings in Agriculture*, 5, 275-290. [In Persian]

29. Rabiee, M., Majidian, M., Alizadeh, M. R., & Kavooosi, M. (2020). Effect of tillage system, planting method and nitrogen fertilizer rate on agronomic characteristics and seed yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.) Dalgan in Guilan, Iran. *Iranian Journal of Crop Science*, 22 (4), 335-349. doi. 20.1001.1.15625540.1399.22.4.4.7. [In Persian]
30. Epie, K. E., Bauer, P. J., Stone, K. C., & Locke, A. (2023). Nitrogen fertilizer effects on soybean physiology, yield components, seed yield and protein content in the Southeastern United States. *Journal of plant nutrition*, 46 (3), 462-472. doi. 10.1080/01904167.2022.2084106.
31. Zubkova, T. N., Vinogradov, D. V., & Dubrovina, O. A. (2022). Effect of zeolite on the micro-morphological and biochemical features of the spring rapeseed. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 54 (1), 153-164. doi. 10.54910/sabrao2022.54.1.14.
32. Affendi, J., Berd, I., Haryoko, W., Utama, Z. H., & Novia, P. (2023). The role of zeolite and NPK fertilizer on maize (*Zea mays* L.) growth in Inceptisol, Southern Solok district. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9 (4), 95-103. doi. 10.9734/ajsspn/2023/v9i4195.