

Research Article

Agricultural Engineering., 47(2) (2024)201-216

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.45615.1706

ISSN (E): 2588-5944

Effect of mineral amendments on yield, yield component and some macro nutrients concentration of soybean in two soil with different characteristics.

A. Gelwardi¹, M.A. Bahmanyar^{*2} and B. Jalili³

1. Former M. Sc. student, Soil Science and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2. Professor, Soil Science and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (corresponding author)
3. Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 28 December 2023

Accepted: 3 June 2024

*Corresponding Author: mali.bahmanyar@gmail.com

Abstract

Introduction: The environmental effects caused by the application of chemical fertilizers, including water and soil pollution, are a threat to the health of the environment. Researchers are trying to reduce the harmful effects of chemical fertilizers and applying as much mineral resources as possible in the soil to meet the nutritional needs of plants. The addition of natural amendments such as zeolite, pumice and bentonite plays an important role in reducing the nutrients loss and increasing fertilizer use efficiency. These amendments, having a special physical and chemical structure, play an important role in enhancing the water and nutrients uptake by plant. As a result, this research was conducted with the aim of determining the effect of zeolite, pumice and bentonite application on yield, component yields and macro elements of soybean seeds and leaves in two soils with different textures.

Materials and methods: This experiment was conducted as a split plot in three replicates and in pots conditions in the research greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2021. In this experiment, the main factors include two types of soil (silty clay and sandy loam) and the secondary factors in fourteen levels include the control, PK chemical fertilizer treatment according to the soil test, zeolite, pumice and bentonite, each at 2 levels of 0.5 and 1% without fertilizer, 0.5% zeolite, pumice and bentonite with 75% PK fertilizer, 1% zeolite, pumice and bentonite with 50% PK fertilizer were considered. After harvesting seed yield, the thousand seed weight, pod number and concentrations of nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium were measured in seeds and leaves. The data obtained from the experiment were statistically analyzed using Statistic software. The comparison of the means was also done using the LSD test method at the 5% level.

Result and discussion: The highest amount of seed yield was observed in silty clay soil and in 0/5 % zeolite with 75% PK fertilizer at the rate of 67.02 gram per pot. In addition, the effect of the amendment treatments on all studied traits was significant except leaf potassium. In the treatment of 1% Zeolite, thousand seed weight (12%) and pod number (17%) were significantly higher than control treatment. Also, the results of the compare means showed that 1% bentonite treatment had the maximum amount of seed



nitrogen (7.09 %) and the treatment of 1% bentonite with 50% fertilizer had the most amount of seed phosphorus (0.723 %) compared to other treatments. The highest amount of leaf nitrogen was measured as 6.86% in 0.5% zeolite with 50% PK fertilizer

Conclusion: According to the results of the present study, application of different levels of zeolite had greater effect on increasing the weight of thousand seeds and the number of pod in the pot. Zeolite treatments with PK fertilizer were the most effective treatments on seed yield and the concentration of nutrients.

Key words: *Soil amendment, nitrogen, potassium, soybean*

اثر اصلاح کننده‌های معدنی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر پرمصرف سویا در دو خاک با ویژگی‌های متفاوت.

علی امیری گلوردی^۱، محمد علی بهمنیار^{۲*} و بهی جلیلی^۳

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

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

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

چکیده

تاریخچه مقاله

محققین در تلاش برای کاهش اثرات زیان‌بار مصرف کودهای شیمیایی و کاربرد هرچه بیشتر از منابع معدنی در خاک برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان هستند. کاربرد اصلاح کننده‌های طبیعی مانند زئولیت، پومیس و بنتونیت نقش مهمی در کاهش هدررفت عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف کودها دارد. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین اثر کاربرد زئولیت، پومیس و بنتونیت بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی پر مصرف دانه و برگ گیاه سویا در دو خاک با بافت متفاوت انجام شد. 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 ۱۴۰۰ انجام شد. عامل اصلی شامل دو نوع خاک (رسی سیلتی و لوم شنی) بوده و عامل فرعی در چهارده سطح شامل شاهد، تیمار کودهای شیمیایی فسفوری و پتاسه (PK) طبق آزمون خاک، زئولیت، پومیس و بنتونیت هر کدام در دو سطح ۰/۵ و یک درصد بدون کود، زئولیت، پومیس و بنتونیت ۰/۵ درصد به همراه ۷۵ درصد کود PK، زئولیت، پومیس و بنتونیت یک درصد با ۵۰ درصد کود PK در نظر گرفته شد. بیشترین عملکرد دانه در خاک رس سیلتی و تیمار ۰/۵ درصد زئولیت به همراه ۷۵ درصد کود به مقدار ۶۷/۰۲ گرم مشاهده شد. اثر تیمارهای اصلاح کننده بر تمامی صفات مورد مطالعه به جز پتاسیم برگ معنی‌دار شد. در تیمار یک درصد زئولیت وزن

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴

کلمات کلیدی:

اصلاح کننده خاک،

نیتروژن،

پتاسیم،

سویا

* عهده دار مکاتبات

Email: mali.bahmanyar@gmail.com

هزار دانه (۱۲ درصد) و تعداد غلاف (۱۷ درصد) به طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. بنتونیت یک درصد موجب افزایش ۱۱ درصدی نیتروژن دانه نسبت به شاهد گردید. همچنین علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد تیمار یک درصد بنتونیت حداکثر مقدار نیتروژن دانه (۷/۰۹ درصد) و تیمار یک درصد بنتونیت به همراه ۵۰ درصد کود در خاک رس سیلتی بیش‌ترین مقدار فسفر دانه (۰/۷۲۳ درصد) را در مقایسه با سایر تیمارها داشت. با توجه به نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، در بین تیمارهای اصلاح‌کننده، تیمارهای زئولیت به همراه کود PK موثرترین تیمارها بر صفات مورد مطالعه بودند.

مقدمه

سویا (*Glycine max L.*) یک گیاه مهم و استراتژیک در جهان است. این گیاه از لحاظ تأمین روغن خوراکی و نهاده‌های دامی مورد نیاز کشور همواره مورد توجه بوده و صنایع روغنی، دامپروری، پرورش ماکیان و آبزیان کشور به شدت به سویا و واردات آن وابسته هستند. مقدار روغن سویا از ۱۴ تا ۲۳ درصد و پروتئین آن از ۳۲ تا ۵۰ درصد متغیر بوده و بستگی به اثرات محیط و ژنوتیپ گیاه دارد. سطح زیر کشت سویا در ایران در سال ۲۰۲۰ برابر ۶۰ هکتار بوده که از آن در حدود ۱۴۰ هزار تن محصول برداشت شده است. به نظر می‌رسد روند افزایش کشت سویا به دلیل سود اقتصادی آن، به شدت مورد توجه قرار گیرد (۱۰). مدیریت بهینه‌ی مصرف کودهای شیمیایی و شناسایی و کاربرد اصلاح‌کننده‌هایی که کم‌ترین پیامدهای منفی زیست محیطی را به دنبال داشته و اثرات مثبت کمی و کیفی بر گیاهان زراعی دارد، از جمله اهداف کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (۲۶). یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، استفاده از اصلاح‌کننده‌های معدنی در جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و حاصلخیزی خاک است (۱۳). زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی با شبکه سه بعدی می‌باشند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی حاوی کاتیون‌ها و

مولکول‌های آب است و به دلیل تحرک این کاتیون‌ها، پدیده تبادل یونی که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، میسر می‌شود (۲۳). زئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا و توانایی بالای جذب آمونیوم سبب کاهش تصعید آمونیوم، کاهش تبدیل آمونیوم به نیترات و به دنبال آن کاهش آبشویی نیترات می‌شود (۱۷). زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان موثر باشد (۶). جذب انتخابی و آزاد سازی کنترل شده‌ی عناصر غذایی توسط زئولیت باعث می‌شود که در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت، از طریق فراهمی دراز مدت عناصر غذایی و رطوبت به بهبود رشد گیاه کمک کند (۱۲). در نتیجه زئولیت‌های طبیعی با قابلیت غنی شدن با کاتیون‌های نظیر آمونیوم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غیره می‌توانند به عنوان کودهای کند رهش به بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و کاهش هدررفت عناصر غذایی کمک کنند (۱۹). لطیفا و همکاران (۲۰۱۷)^۱ بیان کردند که قابلیت دسترسی عناصری نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم با کاربرد زئولیت افزایش یافت (۲۰). آگوشی و

سویا در استان مازندران ضرورت مطالعه بر شاخص‌های عملکردی سویا آشکار می‌گردد. مطالعات چندانی در زمینه کاربرد اصلاح‌کننده‌های معدنی در خاک‌های با ویژگی‌های متفاوت بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا انجام نشده است، هدف از این پژوهش اثر کاربرد سطوح مختلف ژئولیت، پومیس و بنتونیت به همراه مقادیر مختلف کود PK بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد غلاف در گلدان و غلظت عناصر غذایی پر مصرف در دانه و برگ گیاه سویا در خاک‌های با ویژگی‌های متفاوت 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 ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نوع خاک، عامل اصلی (S) (خاک با بافت‌های لوم شنی (S₁) و رسی سیلتی (S₂)) و عامل فرعی (T) شامل ۱۴ تیمار که شامل شاهد (T₀)، تیمار کود شیمیایی PK (طبق آزمون خاک، فسفر از منبع سوپر فسفات و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم تأمین شد) (T₁)، ۰/۵ درصد ژئولیت (T₂)، یک درصد ژئولیت (T₃)، ۰/۵ درصد پومیس (T₄)، یک درصد پومیس (T₅)، ۰/۵ درصد بنتونیت (T₆)، یک درصد بنتونیت (T₇)، ژئولیت ۰/۵ درصد + ۷۵ درصد کود PK (T₈)، ژئولیت یک درصد + ۵۰ درصد کود PK (T₉)، پومیس ۰/۵ درصد + ۷۵ درصد کود PK (T₁₀)، پومیس یک درصد + ۵۰ درصد کود PK (T₁₁)، بنتونیت ۰/۵ درصد + ۷۵ درصد کود PK (T₁₂) و بنتونیت یک درصد + ۵۰ درصد کود PK (T₁₃) و در مجموع ۸۴ گلدان در نظر گرفته شد. برطبق نتایج آزمون خاک، مقادیر استفاده کود در تیمار کود شیمیایی در خاک سنگین برای کود پتاسیم مقدار ۰/۲ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک کود سولفات پتاسیم و برای استفاده با مواد اصلاح‌کننده با ۷۵ درصد کود مقدار ۰/۱۵ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک و برای ۵۰ درصد مقدار ۰/۱ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک کود سولفات پتاسیم استفاده گردید.

همکاران^۱ (۲۰۱۵) بیان کردند کاربرد ژئولیت در سطوح مختلف رطوبتی سبب افزایش معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا شد (۳). بنتونیت یکی دیگر از اصلاح‌کننده‌های معدنی است که از گروه کانی‌های ۲:۱ بوده و شامل مخلوطی از کانی‌های رسی است که مقدار زیادی کانی مونت موریلونیت را در خود دارد و به همین علت دارای چسبندگی زیادی است (۱). بنتونیت هم مانند ژئولیت تأثیر زیادی بر جذب آب و نگه‌داری آن در خاک دارد و به سه صورت پتاسیک، سدیک و کلسیک وجود دارد که این قابلیت در نوع سدیم دار از انواع دیگر بیشتر است (۳۲). سزبان و همکاران^۲ (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن بنتونیت به خاک شنی در دراز مدت موجب افزایش عناصر منیزیم، منگنز، کلسیم، پتاسیم و نیتروژن در عمق ۵ الی ۳۰ سانتی متری خاک شده و همچنین pH و CEC خاک را افزایش داده است (۷). پومیس اصلاح‌کننده معدنی و یک کانی با ترکیبات غیر کریستالی از سیلیکات آلومینیوم با جذب رطوبتی بالا می‌باشد (۵). پومیس یک نوع کانی با ترکیب شیمیایی غیر کریستالی سیلیکات آلومینیوم می‌باشد که در کشاورزی برای بهبود نفوذپذیری و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک، کاربرد وسیعی دارد (۲۳). خصوصیات فیزیکی خاک، به دلیل نقش مهمی که در حمایت از رشد گیاه دارد، حائز اهمیت است. این خصوصیات، تعیین‌کننده 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 (۱۱). همچنین به دلیل تنوع بافت خاک و تأثیر آن بر سایر ویژگی‌های خاک، بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌ها بر روی رشد گیاه در خاک‌های با بافت متفاوت ضرورت دارد. با توجه به اثرات سودمند اصلاح‌کننده‌های معدنی، ارزانی و فراوانی معادن آن‌ها در ایران و با توجه به اهمیت سلامت خاک، بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و اهمیت کشت

گلوردی علی و همکاران: اثر اصلاح کننده‌های معدنی بر عملکرد...

همچنین در خاک سبک این مقدار ۰/۳، ۰/۲۳ و ۰/۱۵ و ۰/۱۵ در ۱۰ کیلوگرم خاک به ترتیب برای تیمارهای کود شیمیایی، ۷۵ و ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه زئولیت بوده است. مقادیر استفاده از کود سوپر فسفات تریپل در خاک سنگین برای تیمار کود شیمیایی، ۰/۲ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک بوده و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد کود به ترتیب مقادیر ۰/۱۵ و ۰/۱ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک بود. همچنین در خاک سبک از ۰/۴ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک برای تیمار کود شیمیایی و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد کود شیمیایی به ترتیب مقادیر ۰/۳ و ۰/۲ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک کود سوپر فسفات تریپل در خاک سنگین برای تیمار کود شیمیایی، ۰/۲ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک بوده و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد کود به ترتیب مقادیر ۰/۱۵ و ۰/۱ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک بود. همچنین در خاک سبک از ۰/۴ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک برای تیمار کود شیمیایی و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد کود شیمیایی به ترتیب مقادیر ۰/۳ و ۰/۲

گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک کود سوپر فسفات مصرف گردید. به دلیل فراهمی و تثبیت زیستی نیتروژن توسط گیاه سویا، کود نیتروژنه به خاک اضافه نشد. به منظور اجرای آزمایش، هر کدام از تیمارها بعد از توزین شدن بصورت پودر با ۱۰ کیلوگرم خاک مخلوط گردید و به گلدان‌ها انتقال داده شد. پس از اعمال تیمارها، در هر گلدان ده بذر جوانه‌دار سویا کاشته شد و پس از پنج برگی شدن به سه بوته تنک گردید. در تمام مراحل، آبیاری، اجرای طرح وجین، مبارزه با آفات و بیماری‌ها در همه‌ی گلدان‌ها انجام شد.

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش
Table (1) Some physical and chemical properties of the studied soils

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS. m ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل (درصد) CCE (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) (%) Silt	رس (درصد) (%) Clay	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر قابل دسترس (میلی گرم بر کیلو گرم) Available P (mg. kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم) Available (mg. kg ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
									۱)	
8.3	0.8	35	2.35	14.6	43.8	41.6	0.28	13.43	221.2	رسی سیلتی
8.1	0.5	21	0.86	74.6	11.8	13.6	0.05	10.75	139.6	لوم شنی

جدول (۲) برخی از ویژگی‌های اصلاح کننده‌های معدنی
Table (2) Some characteristics of inorganic amendments

K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلو گرم) CEC Cmol. Kg ⁻¹	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS. m ⁻¹)	اسیدیته pH	اصلاح کننده معدنی Inorganic amendment
1.14	0.7	1.06	2.39	0.91	8	61.5	120	0.5	8.2	زئولیت Zeolite
0.54	0.71	1.44	1.18	1.69	12.5	59.6	77	4.5	8.1	بنتونیت Bentonite
2.16	1.03	2	3.22	2.86	17.24	63.45	72	3.1	7.2	پومیس Pumice

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر نوع خاک، اثر تیمارهای اصلاح کننده و اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح کننده در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در خاک رس سیلتی و در تیمار ژئولیت ۰/۵ درصد به همراه ۷۵ درصد کود به میزان ۶۷/۰۲ گرم و کمترین مقدار آن در خاک لوم شنی و تیمار یک درصد پومیس به همراه ۵۰ درصد کود به مقدار ۴۳/۷۳ گرم مشاهده شد (جدول ۷).

در شروع گل دهی از برگ و در مرحله برداشت از دانه سویا نمونه برداشت شد. غلظت فسفر در برگ و دانه سویا به روش رنگ سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر (۴)، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر، همچنین نیتروژن دانه و برگ به روش کج‌جدال اندازه گیری شد (۲۵). تجزیه و تحلیل داده‌های به دست از آزمایش با استفاده از نرم افزار Statistic مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

جدول (۳) نتیجه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، تعداد غلاف و وزن هزار دانه.

Table (3) The result of analyzing the variance (mean square) of the seed yield, pod number and thousand seed weight.

وزن هزاردانه (گرم در گلدان) Thousand seed weight (g/ per pod)	تعداد غلاف Pod number	عملکرد دانه (گرم در گلدان) Seed yield (g/ per pod)	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.24	0.25	0.43	2	تکرار Replication
22.24**	0.01 ^{ns}	4125.81**	1	نوع خاک Soil type
0.13	0.27	0.30	2	خطا تکرار* نوع خاک Error Rep*Soil Type
1029.16**	1004.53**	40.72**	13	تیمار اصلاح کننده Amendment Treatment
0.24 ^{ns}	0.55 ^{ns}	19.23**	13	نوع خاک * تیمار اصلاح کننده Soil Type* Amendment Treatment
0.49	0.43	0.89	52	خطا تکرار* نوع خاک* تیمار اصلاح کننده Rep*Soil*Treat Error
0.23	0.76	1.00	-	ضریب تغییرات تکرار* نوع خاک (درصد) CV Rep*Soil (%)
0.43	1.95	1.71		ضریب تغییرات تکرار* نوع خاک * اصلاح کننده (درصد) CV Rep*Soil*Treat (%)

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

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

بافت سبک در حضور ژئولیت دانست (۱۳). رضایی و همکاران^۲ (۲۰۲۳) بیان کردند که با کاربرد ۱۰ تن ژئولیت بیش‌ترین وزن هزاردانه در گیاه ارزن حاصل شد (۲۹).

تعداد غلاف در گلدان

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تعداد غلاف در گلدان در تیمارهای اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما اثر ساده نوع خاک و اثر متقابل نوع خاک و تیمار اصلاح‌کننده، تفاوت معنی‌داری را نشان نداده است (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای اصلاح‌کننده بر تعداد غلاف نشان داد که تیمار ژئولیت یک درصد، افزایش بیش‌تری نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌ها داشته است و با افزایش ۱۵ درصدی نسبت به شاهد بیش‌ترین تعداد غلاف و تیمار بنتونیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود با کاهش تقریبی ۵۱ درصدی نسبت به شاهد، کم‌ترین تعداد غلاف را داشتند (جدول ۶). ژئولیت با بهبود کارآیی مصرف عناصر غذایی از طریق قابلیت جذب فسفر، آمونیوم و نترات و همچنین با کاهش آبخوبی و اتلاف کاتیون‌های تبادل، به خصوص پتاسیم سبب افزایش در عملکرد و اجزای عملکرد دانه گردید (۸). حیدرپور و همکاران^۳ (۲۰۲۲) بیان کردند که کاربرد ۱۰ درصد ژئولیت سبب افزایش ۳۵ درصدی تعداد غلاف در بوته سویا گردید (۱۴).

غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و برگ

نیتروژن دانه و برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اصلاح‌کننده و اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده هرکدام به‌صورت جداگانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار نیتروژن دانه داشته‌اند؛ اما در اثر نوع خاک اثر معنی‌داری مشاهده نشده است (جدول ۴). مقایسه میانگین

با توجه به تفاوت در مقادیر عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در دو خاک مورد مطالعه، افزایش عملکرد در خاک رس سیلتی قابل پیش‌بینی بود. ژئولیت‌ها به دلیل وجود کانال‌هایی در ساختمان خود می‌توانند هدایت هیدرولیکی را تغییر دهند. با این حال، باید توجه داشت که اثرات ژئولیت در خاک‌های با بافت‌های مختلف، می‌تواند متفاوت باشد. افزودن ژئولیت به خاک‌های رسی ممکن است میانگین اندازه ذرات را افزایش دهد، بنابراین منجر به هدایت هیدرولیکی بالاتری می‌شود (۲۱). به نظر می‌رسد در مرحله تشکیل دانه به دلیل کاربرد ژئولیت و بهینه بودن شرایط فیزیکی و وضعیت رطوبتی خاک و همچنین نگهداشت عناصر غذایی در خاک سبب افزایش در وزن دانه و عملکرد آن گردید (۲۰). افندی و همکاران^۱ (۲۰۲۳) بیان کردند که کاربرد کود شیمیایی به همراه ژئولیت سبب افزایش در عملکرد دانه ذرت گردید (۲).

وزن هزاردانه

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما اثر نوع خاک و اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده، تفاوت معنی‌داری را نشان نداده است (جدول ۳). مقایسه میانگین وزن هزاردانه در نوع خاک نشان داد که وزن هزاردانه در خاک لوم شنی با مقدار ۱۶۲ گرم، از مقدار آن در خاک رسی سیلتی به میزان ۱۶۰/۹۷ گرم، بیشتر بوده است (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین وزن هزاردانه در تیمارهای اصلاح‌کننده نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه در تیمار ژئولیت یک درصد (۱۷۸/۱۴ گرم) و کم‌ترین آن در تیمار بنتونیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود (۱۳۱/۴۳ گرم) مشاهده شد (جدول ۶). افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به دلیل کاهش آبخوبی عناصر غذایی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک

2- Rezaie et al

3- Heidarpour et al

1- Affendi et al

کاهش هدررفت آن و به دنبال آن افزایش نیتروژن کل خاک و همچنین بهبود ویژگی‌های مختلف خاک و در نتیجه بهبود شرایط برای جذب نیتروژن توسط گیاه باشد. نتایج این پژوهش با نتایج راولی و همکاران^۲ (۲۰۲۰) که در پژوهش خود اثر مثبت کاربرد زئولیت در افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه را گزارش کردند، مشابه بود (۲۸). وو و همکاران^۳ (۲۰۱۹) بیان کردند که کاربرد بنتونیت به همراه کود شیمیایی NPK در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی NPK سبب افزایش ۱۴/۸ درصدی میزان جذب نیتروژن در گیاه گندم گردید (۳۳).

فسفر دانه و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که فسفر دانه در تیمار نوع خاک، تیمارهای اصلاح‌کننده و اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین غلظت فسفر دانه در خاک با بافت رس سیلتی و در تیمار بنتونیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود به مقدار ۰/۷۲۳ درصد مشاهده شد. کم‌ترین غلظت فسفر دانه در تیمار خاک با بافت لوم شنی و تیمار ۰/۵ درصد پومیس مشاهده شد (جدول ۷). این تأثیر معنی‌دار بنتونیت بر غلظت فسفر دانه در خاک رس سیلتی شاید به سهولت قابل توجه نباشد، اما ممکن است بنتونیت با افزایش جذب سطحی فسفر، نگهداری و دسترسی آن را در خاک رس سیلتی افزایش دهد. غلظت فسفر برگ تنها در تیمار نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است اما اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده تأثیر معنی‌داری نداشت.

تیمارهای اصلاح‌کننده نشان داد مقدار نیتروژن دانه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد افزایش یافته است. نیتروژن دانه زمانی که اصلاح‌کننده‌ها به همراه کود به خاک اضافه شدند در مقایسه با زمانی که به تنهایی و بدون کود به خاک اضافه گردیدند، کاهش یافته است؛ یعنی استفاده همزمان اصلاح‌کننده‌ها و کود موجب کاهش نیتروژن دانه شده است که شاید به این دلیل باشد که با افزودن اصلاح‌کننده‌ها بخشی از نیتروژن توسط آن‌ها جذب شده است. بین تیمارهای اصلاح‌کننده بنتونیت یک درصد با افزایش ۱۱ درصدی نیتروژن دانه نسبت به شاهد، بیش‌ترین مقدار نیتروژن را نسبت به سایر تیمارها داشته و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به تیمار بنتونیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود می‌باشد (جدول ۶). تیمارهای اصلاح‌کننده موجب افزایش نیتروژن دانه نسبت به شاهد شده است که این می‌تواند به علت نگهداشت بیشتر نیتروژن توسط این اصلاح‌کننده‌ها و کاهش هدررفت نیتروژن از خاک باشد (۲۷). سوزا و همکاران^۱ (۲۰۱۸) بیان کردند استفاده از زئولیت کلینوپتیلولیت به همراه کود اوره سبب کاهش ۵۳ درصدی هدررفت نیتروژن نسبت به زمانی که کود بدون زئولیت بکاررفته، شده است (۳۱).

در ضمن با توجه به نتایج تجزیه واریانس بدست آمده، مشاهده می‌شود که مقدار نیتروژن برگ در نوع خاک، تیمارهای اصلاح‌کننده و همچنین اثر متقابل نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین غلظت نیتروژن برگ در دو نوع خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده نشان می‌دهد که در خاک رسی سیلتی بیش‌ترین غلظت نیتروژن برگ در تیمار زئولیت یک درصد به مقدار ۷/۷۹ درصد و کم‌ترین مقدار در خاک لوم شنی و در تیمار شاهد با عدد ۵/۴۷ درصد به ثبت رسیده است (جدول ۷). افزایش غلظت نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت می‌تواند به دلیل نگهداشت نیتروژن و

گلوردی علی و همکاران: اثر اصلاح کننده‌های معدنی بر عملکرد...

جدول (۴) نتیجه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه سویا.

Table (4) The result of analyzing the variance (mean square) of the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium elements in soybean plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	نیتروژن دانه (درصد) Seed nitrogen (%)	نیتروژن برگ (درصد) Leaf nitrogen (%)	فسفر دانه (درصد) Seed phosphorus (%)	فسفر برگ (درصد) Leaf phosphorus (%)	پتاسیم دانه (درصد) Seed potassium (%)	پتاسیم برگ (درصد) Leaf potassium (%)
تکرار Replication	2	0.03693	0.0510	0.00029	0.00005	0.02264	0.22728
نوع خاک Soil Type	1	1.48003 ^{ns}	29.3585 ^{**}	0.67698 ^{**}	0.02472 ^{**}	0.26410 ^{ns}	2.92320 ^{**}
خطا تکرار * نوع خاک Error Rep* Soil Type	2	0.35186	0.1817	0.00007	0.00019	0.04456	0.01006
تیمار اصلاح کننده Amendment Treatment	13	0.55863 ^{**}	0.4318 ^{**}	0.01423 ^{**}	0.00786 ^{**}	0.28475 ^{**}	0.11794 ^{ns}
نوع خاک * تیمار اصلاح کننده Soil Type* Amendment Treatment	13	0.27086 ^{**}	0.2686 ^{ns}	0.00589 ^{**}	0.00027 ^{ns}	0.14309 ^{**}	0.12264 ^{ns}
خطا تکرار * نوع خاک * تیمار اصلاح کننده Error Rep*Soil*Treat	52	0.09884	0.0754	0.00046	0.00011	0.04252	0.05200
ضریب تغییرات تکرار * نوع خاک (درصد) CV Rep*Soil(%)	-	8.68	6.23	1.62	5.51	10.21	5.79
ضریب تغییرات تکرار * نوع خاک * اصلاح کننده (درصد) CV Rep*Soil*Treat (%)		4.6	4.02	4.25	4.21	9.97	13.16

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

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

جدول (۵) مقایسه میانگین اثر نوع خاک بر وزن هزار دانه، فسفر و پتاسیم برگ.

Table (5) Mean comparisons effect of soil type on thousand seed weight, phosphorous and potassium in leaf.

نوع خاک Soil type	وزن هزار دانه (گرم در گلدان) Thousand seed weight (g/ per pod)	فسفر برگ (%) Leaf phosphorous (%)	پتاسیم برگ (%) Leaf potassium (%)
لوم شنی Sandy loam	162.00 ^a	0.23 ^b	1.92 ^a
رسی سیلتی Silty clay	160.97 ^b	0.26 ^a	1.54 ^b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی داری بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

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

که بهترین تیمار مورد آزمایش به ترتیب کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم نانو بتونیت در هکتار و ۱۰ تن بتونیت در هکتار بود که بیشترین مقدار فسفر دانه در این تیمارها حاصل شد (۹).

پتاسیم دانه و برگ

غلظت پتاسیم دانه در تیمارهای اصلاح کننده و اثر متقابل تیمارهای اصلاح کننده و نوع خاک در سطح احتمال یک درصد معنی داری شد. با توجه به نتایج آزمون خاک و اختلاف غلظت پتاسیم در خاکها انتظار می رود که اثر نوع خاک بر صفت مورد نظر معنی دار گردد، اما تأثیر معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای اصلاح کننده و نوع خاک نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم دانه در تیمار خاک لوم شنی و ۰/۵ درصد زئولیت به همراه ۷۵ درصد کود PK به مقدار ۲/۸۸ درصد و کمترین آن در تیمار خاک لوم شنی و ۰/۵ درصد پومیس مشاهده شد (جدول ۷). در خاکهای با بافت سبک که افزایش پتاسیم محلول، خطر آبخوبی این عنصر را افزایش می دهد، کاربرد زئولیت می تواند پتاسیم را در فاز تبدلی نگه داشته و از تثبیت و آبخوبی آن جلوگیری کند (۱۶). لی و همکاران^۴ (۲۰۲۲) بیان کردند که کاربرد زئولیت به تنهایی و یا به همراه کود پتاسیمی سبب افزایش محتوای پتاسیم خاک و همچنین افزایش جذب پتاسیم در برنج گردید (۲۱). نتایج تجزیه واریانس پتاسیم برگ نشان داد که اثر نوع خاک تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت و اثر تیمارهای اصلاح کننده و اثر متقابل تیمارهای اصلاح کننده و نوع خاک معنی دار نگردید (جدول ۴). مقایسه میانگین درصد پتاسیم برگ در دو نوع خاک نشان داد که غلظت پتاسیم در خاک لوم شنی با مقدار ۱/۹۲ درصد و در خاک رسی سیلتی ۱/۵۴ درصد مشاهده شد که مقدار آن در خاک لوم شنی ۲۴ درصد بیش از خاک رسی سیلتی بود (جدول ۴). با توجه به اختلاف غلظت پتاسیم در دو نوع خاک مورد آزمایش (جدول ۱)، انتظار می رود که درصد پتاسیم برگ در خاک رسی سیلتی بیش تر از لوم شنی گردد اما چنین نتیجه ای بدست نیامد.

جدول مقایسه میانگین نوع خاک نشان داد که بیشترین غلظت فسفر برگ در خاک رس سیلتی مشاهده شد که نسبت به خاک لوم شنی، ۱۳ درصد افزایش داشت (جدول ۵). که با توجه به نتایج اولیه آزمون خاکهای مورد آزمایش قابل توجه است زیرا خاک رس سیلتی مقدار فسفر قابل دسترس بیش تری نسبت به خاک لوم شنی داشت. مقایسه میانگین غلظت فسفر برگ در بین تیمارهای اصلاح کننده نشان داد که در تمام تیمارهای اصلاح کننده نسبت به شاهد، غلظت فسفر برگ افزایش یافته است (جدول ۶) که با نتایج مطالعات ساهین و همکاران^۱ (۲۰۰۵) که استفاده از اصلاح کننده های زئولیت، بتونیت و پومیس سبب افزایش جذب عناصر NPK و افزایش عملکرد محصول شده اند، مطابقت داشته است. همچنین مشاهده می شود استفاده اصلاح کننده ها به همراه کود، افزایش مقدار فسفر برگ را نسبت به زمانی که بدون کود به خاک اضافه شدند را به دنبال داشته است (۳۰). ژانژن و همکاران^۲ (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد مقادیر مختلف بتونیت اثر معنی داری بر میزان غلظت فسفر قابل دسترس خاک در طول دوره پنج ساله آزمایش داشت و مقدار فسفر خاک را از صفر تا ۱۷ درصد افزایش داد. کاربرد ۱۸ تن بتونیت در هکتار بیشترین اثر را در سال اول آزمایش داشت. اما مصرف ۳۰ تن در هکتار در طول پنج سال تأثیر بیش تری بر میزان فسفر خاک نشان داد (۱۸). بیشترین غلظت فسفر برگ به ترتیب در تیمارهای بتونیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود و زئولیت یک درصد به همراه ۵۰ درصد کود به مقدار ۰/۳۴۴ درصد و ۰/۳۱۲ درصد مشاهده شد که نسبت به شاهد ۷۲ درصد و ۵۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین غلظت فسفر برگ نیز در تیمار شاهد به مقدار ۰/۲۰۱ درصد مشاهده شد. (جدول ۶). مقدار زیادی از کود فسفر در خاک به وسیله کلسیم تثبیت شده و تشکیل فسفات کلسیم می دهند و با این فرضیه که زئولیت می تواند کلسیم را از سنگ فسفات جذب کند و این عمل باعث آزاد شدن فسفر قابل جذب برای گیاه می گردد. اناگر و ساری^۳ (۲۰۲۱) به بررسی اثر بتونیت بر ویژگی های خاک و گیاه گندم پرداختند و بیان کردند

1- Sahin et al

2- junzhen et al

3- E-nager et al

4- li et al

جدول (۶) مقایسه میانگین اثر تیمارهای اصلاح کننده بر وزن هزاردانه، تعداد غلاف و نیتروژن دانه و فسفر برگ.

Table(6) Mean comparisons effect of amendment treatments on thousand seed weight, Pod number, seed nitrogen and leaf Phosphorus.

فسفر برگ (%) Leaf Phosphorus (%)	نیتروژن دانه (%) Seed nitrogen (%)	تعداد غلاف Pod number	وزن هزاردانه (گرم در گدان) Thousand seed weight (gr. Pod ⁻¹)	تیمار اصلاح کننده Amendment treatment
0.201 ⁱ	6.38 ^c	71.08 ^e	166.07 ^e	شاهد
0.23 ^h	7.00 ^a	76.50 ^c	174.87 ^b	Fertilizer (PK) کود فسفوره و پتاسه
0.234 ^{gh}	7.01 ^a	76.17 ^c	175.02 ^b	۰/۵ درصد زئولیت (Zeolite 0.5 %)
0.235 ^{fgh}	6.84 ^{ab}	83.64 ^a	178.14 ^a	۱ درصد زئولیت (Zeolite 1 %)
0.232 ^{gh}	7.02 ^a	72.82 ^e	171.575 ^c	۰/۵ درصد پومیس (Pumice 0.5%)
0.247 ^{def}	7.04 ^a	80.49 ^b	169.035 ^d	۱ درصد پومیس (Pumice 1 %)
0.213 ⁱ	6.94 ^a	73.53 ^d	160.235 ^g	۰/۵ درصد بنتونیت (Bentonite 0.5 %)
0.249 ^{de}	7.09 ^a	80.20 ^b	161.345 ^f	۱ درصد بنتونیت (Bentonite 1 %)
0.242 ^{efg}	6.82 ^{ab}	65.06 ^f	157.91 ^h	۰/۵ درصد زئولیت + ۷۵ درصد کود (Zeolite 0.5 % + 75 % PK)
0.291 ^b	6.97 ^a	70.85 ^e	165.571 ^g	۱ درصد زئولیت + ۵۰ درصد کود (Zeolite 1 % + 50 % PK)
0.269 ^c	6.93 ^a	62.49 ^g	155.825 ⁱ	۰/۵ درصد پومیس + ۷۵ درصد کود (Pumice 0.5 % + 75 % PK)
0.256 ^d	6.97 ^a	61.37 ^f	145.035 ^k	۱ درصد پومیس + ۵۰ درصد کود (Pumice 1% + 50 % PK)
0.284 ^b	6.55 ^{bc}	54.05 ⁱ	148.47 ^j	۰/۵ درصد بنتونیت + ۷۵ درصد کود (Bentonite 0.5% + 75% PK)
0.344 ^a	6.02 ^d	34.13 ^j	131.432 ^l	۱ درصد بنتونیت + ۵۰ درصد کود (Bentonite 1% + 50% PK)

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

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

جدول (۷) مقایسه میانگین اثر متقابل بافت خاک و تیمارهای اصلاح کننده بر عملکرد دانه و برخی عناصر دانه و برگ.

Table (7) Mean comparisons effect of soil texture and amendment treatments on seed yield and concentration of some nutrients in seed and leaf.

نوع خاک Soil type	تیمار اصلاح کننده amendment treatment	عملکرد دانه (گرم در گلدان) Seed yield (gr. Pod ⁻¹)	نیتروژن برگ (%) leaf nitrogen (%)	فسفر دانه (%) Seed Phosphorus (%)	پتاسیم دانه (%) Seed potassium (%)
لوم شنی Sandy loam	شاهد	45.67 ^k	5.47 ^l	0.384 ^{no}	1.87 ^f
	کود فسفره و پتاسه (PK) Fertilizer (PK)	49.28 ^h	6.46 ^{ghij}	0.581 ^{cde}	2.14 ^{de}
	۰/۵ درصد زئولیت (Zeolite 0.5 %)	47.32 ^{ij}	6.67 ^{fgh}	0.365 ^o	1.8 ^{ef}
	۱ درصد زئولیت (Zeolite 1 %)	49.12 ^h	5.96 ^k	0.498 ^{hi}	1.99 ^{def}
	۰/۵ درصد پومیس (Pumice 0.5%)	46.16 ^{jk}	6.13 ^k	0.318 ^p	1.76 ^f
	۱ درصد پومیس (Pumice 1 %)	46.36 ^{jk}	6.50 ^{ghij}	0.384 ^{no}	1.87 ^f
	۰/۵ درصد بنتونیت (Bentonite 0.5 %)	49.43 ^h	6.18 ^{ijk}	0.356 ^o	1.80 ^{ef}
	۱ درصد بنتونیت (Bentonite 1%)	51.93 ^g	6.27 ^{hijk}	0.422 ^{klm}	1.78 ^f
	۰/۵ درصد زئولیت + ۷۵ درصد کود (Zeolite 0.5 % + 75 % PK)	53.17 ^g	6.86 ^{efg}	0.446 ^{jkl}	2.88 ^a
	۱ درصد زئولیت + ۵۰ درصد کود (Zeolite 1 % + 50 % PK)	49.99 ^h	6.59 ^{fghi}	0.411 ^{lmn}	2.5 ^{bc}
	۰/۵ درصد پومیس + ۷۵ درصد کود (Pumice 0.5 % + 75 % PK)	46.86 ^{jk}	6.16 ^{ijk}	0.410 ^{mn}	1.81 ^{ef}
	۱ درصد پومیس + ۵۰ درصد کود (Pumice 1 % + 50 % PK)	43.73 ^l	6.18 ^{ijk}	0.475 ^{ij}	1.92 ^{def}
	۰/۵ درصد بنتونیت + ۷۵ درصد کود (Bentonite 0.5% + 75% PK)	48.67 ^{hi}	6.20 ^{ijk}	0.576 ^{def}	2.07 ^{def}
	۱ درصد بنتونیت + ۵۰ درصد کود (Bentonite 1% + 50% PK)	49.33 ^h	5.83 ^{kl}	0.451 ^{jk}	2.14 ^{de}
رسی سیلتی Silty clay	شاهد	61.77 ^{cd}	7.29 ^{bcd}	0.576 ^{def}	2.27 ^{bcd}
	کود فسفره و پتاسه (PK) Fertilizer (PK)	66.46 ^a	7.56 ^{ab}	0.581 ^{cde}	2.06 ^{def}
	۰/۵ درصد زئولیت (Zeolite 0.5 %)	66.67 ^a	7.43 ^{abcd}	0.608 ^{bcd}	2.09 ^{def}
	۱ درصد زئولیت (Zeolite 1 %)	64.33 ^b	7.79 ^a	0.498 ^{hi}	2.59 ^{ab}
	۰/۵ درصد پومیس (Pumice 0.5%)	60.43 ^{de}	7.1 ^{cdef}	0.543 ^{fg}	1.83 ^{ef}
	۱ درصد پومیس (Pumice 1 %)	55.67 ^f	6.92 ^{efg}	0.599 ^{bcd}	1.95 ^{def}
	۰/۵ درصد بنتونیت (Bentonite 0.5 %)	55.86 ^f	7.68 ^{ab}	0.557 ^{efg}	2.11 ^{def}
	۱ درصد بنتونیت (Bentonite 1%)	66.18 ^a	7.74 ^{ab}	0.533 ^{gh}	1.88 ^{ef}
	۰/۵ درصد زئولیت + ۷۵ درصد کود (Zeolite 0.5 % + 75 % PK)	67.02 ^a	7.67 ^{ab}	0.624 ^b	2.25 ^{bcd}
	۱ درصد زئولیت + ۵۰ درصد کود (Zeolite 1 % + 50 % PK)	63.33 ^b	51.87 ^m	0.612 ^{bc}	2.24 ^{cd}
	۰/۵ درصد پومیس + ۷۵ درصد کود (Pumice 0.5 % + 75 % PK)	61.39 ^d	7.5 ^{abc}	0.629 ^b	2.06 ^{def}
	۱ درصد پومیس + ۵۰ درصد کود (Pumice 1 % + 50 % PK)	62.98 ^{bc}	7.76 ^a	0.607 ^{bcd}	2.06 ^{def}
	۰/۵ درصد بنتونیت + ۷۵ درصد کود (Bentonite 0.5% + 75% PK)	59.67 ^e	6.90 ^{efg}	0.613 ^{bc}	2.07 ^{def}
	۱ درصد بنتونیت + ۵۰ درصد کود (Bentonite 1% + 50% PK)	61.51 ^{cd}	7.01 ^{defg}	0.723 ^a	2.15 ^{cde}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی داری بر طبق آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

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

نتیجه گیری

تأثیر اصلاح کننده‌های مختلف بر عملکرد، اجزای عملکرد و عناصر غذایی دانه و برگ، به نوع اصلاح کننده و نوع خاک بستگی دارد. به طور کلی از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در بین اصلاح کننده‌های مورد مطالعه در این پژوهش، زئولیت و بنتونیت بیشترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی داشتند. بیشترین عملکرد دانه در خاک رس سیلتی و در تیمار زئولیت ۰/۵ درصد به همراه ۷۵ درصد کود مشاهده شد. سطوح مختلف زئولیت به تنهایی و به همراه کود PK سبب تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه، تعداد غلاف در گلدان، نیتروژن برگ و پتاسیم دانه گردید.

در بین صفات مورد بررسی بیشترین غلظت نیتروژن دانه و فسفر برگ به ترتیب در تیمار بنتونیت یک درصد و تیمار بنتونیت یک درصد به همراه کود PK مشاهده شد. در مجموع نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مصرف زئولیت به عنوان یک اصلاح کننده معدنی به کمک کودهای شیمیایی پتاسه و فسفره، با بیشتر شاخص‌های عملکرد، اجزای عملکرد گیاه و غلظت برخی عناصر غذایی ارتباط معنی‌داری داشته است.

References

1. Abedi-Koupai, J., and Asadkazemi, J. 2006. Effect of a hydrophilic polymer on the field performance of ornamental plant (*Cupressus Arizonica*) under reduced irrigation regimes. *Iran Polymer Journal*, 15: 9. 715-725.
2. Affendi, J., Berd, I., Haryoko, W., Utama, Z.H., and 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.
3. Agooshi, M., Ghajar Sepanlu, M., and Bahmanyar, M.A. 2015. Effect of zeolite application on the yield and quality of soybean under water and non-water stress. *Journal of plant production*, 22: 2. 173-187. (In Persian With English Abstract)
4. Chapman, H.D., and Pratt F.P. 1961. Ammonium vanadate-molybdate method for determination of phosphorus. *Methods of analysis for soils, plants and water*. California University, USA, 184-203.
5. Çifçi D.I., and Meriç S. 2015. A review on pumice for water and wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 1-13.
6. Collela, C. 2005. Zeolite and ordered mesoporous material: progress and prospects. J. Cejka and H. van Bekhum, (Eds.). *Studies Surface Science Catalysis* 157. Elsevier, Amsterdam 13-40.
7. Czaban, J., Siebielec, G., Czyż, E. and Niedźwiecki, J. 2013. Effects of bentonite addition on a sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (1); Effect on organic carbon and total nitrogen. *Polish Journal Environmental Studies*, 22: 6.1661.
8. Bernardi, A.C., Oliviera, P.P.A., de Melo Monte, M.B. and Souza Barros, F. 2013. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous Mesoporous Materials*, 167: 16-21.
9. E-Nager, D.A., and Sary, D.H. 2021. Synthesis and characterization of nano bentonite and its effect on some properties of sandy soils. *Soil and Tillage Research*, 208: 104872.
10. FAO Statistical Yearbook. 2020. World Food and Agriculture.
11. Hakimzadeh, M.A., Haghjoo, M., Moradi, G.H., and 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. (In Persian With English Abstract)
12. Hamidpour, M., Shariatmadari, H., and Soleimani, M. 2012. In: Inglezakis, V. J. and A.A. Zorpas (Eds.) *Handbook of natural zeolites*, Bentham Science Publishers. Zeoponic Systems, 588-600.
13. Hazrati, S., Khurizadeh, S., and 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.
14. Heidarpour saremi, Z., Daneshvar, M., Akbarpour, O., and 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. (In Persian with English abstract)
15. Hosseini Abri, S.A., Parhizkar, M.S., Eradatmand Asli, D., and Moradi, P. 2011. The effect of different levels of zeolite on the yield and yield components of sunflower plant. *Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development, Opportunities and Challenges Ahead*. Islamic Azad University of Shiraz. Shiraz. 2011. (In Persian)
16. F. Jaberian, Sh. Mahmoudi, S.A. Abtahi., and 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.
17. Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., and Mierzwa-Hersztek, M. 2022. The use of zeolites as an addition to fertilizers A review. *Catena*, 213: 106125.

18. Junzhen, M., Gregorich, E.G., Xu, S., McLaughlin, N.B., Ma, B., and Liu, J. 2020. Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. *European Journal of Soil Biology*, 102: 1-7.
19. Karami, S., Hadi, H., Tajbaksh, M., and Modarres Sanavy, S.A.M. 2020. Effect of zeolite on nitrogen use efficiency and physiological and biomass traits of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) under water-deficit stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20: 3. 1427-1441.
20. Latifah, O., Ahmed, O.H., and Abdul Majid, N.M. 2017. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*, 306: 152-159.
21. Li, Y., Xia, G., Wu, Q., Chen, W., Lin, W., Zhang, Z., Chen, Y., Chen, T., Siddique, K., and Chi, D. 2022. Zeolite increase grain yield and potassium balance in paddy soil. *Geoderma*, 405: 115397.
22. Lin, C.-F., Lo, S.-S., Lin, H.Y., and Lee, Y. 1998. Stabilization of cadmium contaminated soils using synthesized zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 60(3), 217-226.
23. Malekian, A., Valizadeh, E., Dastoori, M., Samadi, S., and Bayat, V. 2012. Soil water retention and maize (*Zea mays L.*) growth as affected by different amounts of pumice. *Australian Journal of Crop Science*, 6: 3. 450-454.
24. Mihok, F., Macko, J., Oriňak, A., Oriňaková, R., Koval, K., Sisáková, K., Petruš, O., and 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.
25. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *methods of soil analysis. Part 2*, eds. A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, 539–79. 2nd ed. Madison, WI: ASA.
26. Noble, A.D., Gillman, G.P., and Ruaysoongnern, S. 2000. Cation exchange index for assessing degradation of acid soil by further acidification under permanent agriculture in the tropics. *European Journal of Soil Science*, 51: 233–243.
27. Qi, W., Guimin, Xia, Taotao, C., Daocai, C., Ye, J., and Dehuan, S. 2016. Impacts of nitrogen and zeolite managements on yield and physicochemical properties of rice grain. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9: 5. 93-100.
28. Ravali, C.H., Rao, K.J., Anjaiah, T., and 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.
29. Rezaie, Z., Behdani, M.A., Kasheie Siuki, A., and Samadzadeh, A. 2023. The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceum L.*). *Journal of Agroecology*, 15: 2. 223-238. (In Persian With English Abstract)
30. Sahin, U., Ors, S., Ercisli, S., Anapali, O., and Esitken, A. 2005. Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. *Journal of Central European Agriculture*, 6: 3. 361-366.
31. Souza, I.M.S., Gurgel, G.C.S., Medeiros, A.M., Zonta, E., Ruiz, J.A.C., Paskocimas, C.A., Motta, F.V., and Bomio, M.D.R. 2018. The use of clinoptilolite as carrier of nitrogen fertilizer with controlled release. *Journal of Environmental Chemistry Engineering*, 6: 4171-4177.
32. Specht, A., and Jones, J.H. 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: The use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. *Journal of Forestry Research*, 1: 117-123.
33. Wu, Y., Li, F., Zheng, H., Hong, M., Hu, Y., Zhao, B., and De, H. 2019. Effects of three types of soil amendments on yield and soil nitrogen balance of maize-wheat rotation system in the Hetao irrigation area, China. *Journal of Arid Land*, 11: 904-915.