

Research Article

Agricultural Engineering., 45(4) (2023) 391-408
DOI:10.22055/AGEN.2023.43010.1655

ISSN (E): 2588-526X

ISSN (P): 2588-5944

Impact of zeolite and nitrogen application on nitrogen use efficiency, growth and yield of maize (*Zea mays* L.)

N. Dastbaz¹, M. Ali Mahmoodi^{1*}, A. Karimi³ and S. Salavati⁴

1. MSc Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
3. Researcher, Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran
4. Graduated MSc Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Received: 11 February 2023

Accepted: 20 March 2023

Abstract

Introduction: Nitrogen (N), as an essential nutrient for growth and development of plants, is added to agricultural fields to boost crop yield. Major concerns in modern agriculture are maximum nutrient use efficiency, improvement of the soil fertility and prevention of groundwater pollution. Environmental and economical challenges due to nitrogen application in agriculture have increased regard to nitrogen use efficiency (NUE). Improving the nitrogen use efficiency, which is the fraction of the applied fertilizer nitrogen taken up by a plant for its physiological and growth purposes, is one of the strategies for reducing N loss in agriculture. With the continued escalating costs of inorganic fertilizers, NUE in field crops should be enhanced to reduce production costs. Therefore, it is essential that appropriate N fertilizer management practices are adopted to optimize the use of applied N in cropping systems. NUE and better plant growth are related to soil's physico-chemical traits. In this context, the application of soil amendments, such as zeolite, has great importance for the reclamation of soil properties and improve plant growth. Natural zeolites are naturally occurring, hydrated aluminosilicates with and being considered as good soil amendment for minimizes N losses and increase NUE. Therefore the objective of this study was investigating the effect of different levels of clinoptilolite zeolite and nitrogen fertilizer on the efficiency of nitrogen use, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in field conditions.

Materials and methods: This study carried out in field condition as a split-plot arrangement based on randomized complete blocks and in three replications, at the University of Kurdistan research farm in Dehgolan. The experimental treatments include the application of clinoptilolite zeolite at four levels (0, 5, 10 and 15 ton ha⁻¹) as the main plot and the application of nitrogen at five levels

(0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹) as the sub-plot. Urea fertilizer was used to supply the required nitrogen. Maize cultivation (KSC 260 cultivar) was done in 2021. At the end of cultivation season, harvest was done from each plot, and some plant growth traits (leaf area, cob length and cob diameter), leaf N concentration, yield components (grain number in cob, raw number in cob and grain weight in cob), and grain yield were measured. In addition, the NUE was calculated. In order to investigate the effect of zeolite on soil nitrogen status, soil samples were collected from plots after harvest, and cation exchange capacity (CEC), and total soil nitrogen (TN) were measured. Analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS software version 9.4. Significant differences of the mean values ($P < 0.05$) were determined by Duncan's Multiple Range test.

Results and Discussion: The results showed that as a result of the application of 10 and 15 ton zeolite ha⁻¹, the soil cation exchange capacity the soil total nitrogen concentration, leaf nitrogen concentration, leaf area index, cob length, grain yield and nitrogen use efficiency increased significantly. The results showed that the highest leaf N concentration, plant growth indices, grain yield and yield components was observed in the treatments of co-application of 150 and 200 kg N ha⁻¹ with 10 and 15 ton ha⁻¹ of zeolite. There was no significant difference between the grain yields in these treatments. The results also indicated that Moreover, nitrogen use efficiency decreased with increasing nitrogen application levels. The nitrogen use efficiency (NUE) in the 150 kg N ha⁻¹ treatment was significantly higher than 200 kg N ha⁻¹ treatment. The results demonstrated that there was no significant difference between two nitrogen fertilizer levels (150 and 200 kg N ha⁻¹) positive effects on grain yield. The improved maize growth and enhanced grain yield induced by zeolite amendment were related to the increase in soil CEC, soil N status, N uptake in plant, as well as probably improved soil nutrient availability and physicochemical properties. Leaf N concentration (56.6%), leaf area index (56.5%), cob length (21.5%), leaf nitrogen concentration (56.6%), grain weight in cob (61.8%), grain number in cob (41.6%) and grain yield (38.6%) in the plant were significantly higher than control treatment.

Conclusion: It can be concluded that the combined use of zeolite (at the level of 10 ton ha⁻¹) and nitrogen (150 kg ha⁻¹) can be a suitable solution for improving corn yield and increasing the nitrogen use efficiency (NUE).

Key words: *Clinoptilolite zeolite, grain yield, nitrogen nutrition, urea fertilizer*

تأثیر کاربرد زئولیت و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن، رشد و عملکرد ذرت

نادیه دستیاز^۱، محمد علی محمودی^{۲*}، اکبر کریمی^۳ و سارا صلواتی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
- ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
- ۳- محقق گروه تحقیقات بهزراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران.
- ۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف زئولیت کلینوپتیلولیت و کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن، رشد و عملکرد ذرت (KSC 260) در شرایط مزرعه انجام شد. بدین منظور، پژوهشی مزرعه‌ای به صورت کرت خرد شده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار و ۶۰ کرت آزمایشی، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان، انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت در چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و کاربرد نیتروژن در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان کرت فرعی، بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار شاخص‌های رشدی، غلظت نیتروژن برگ، عملکرد دانه و اجزای عملکرد مربوط به تیمارهای کاربرد ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود و تفاوت معنی‌داری بین مقدار این ویژگی‌ها در این تیمارها وجود نداشت. همچنین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در تیمار کاربرد توأم ۱۰ تن در هکتار زئولیت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، غلظت نیتروژن برگ (۵۶/۶ درصد)، شاخص سطح برگ (۵۶/۵ درصد)، طول بلال (۲۱/۵ درصد)، وزن دانه در بلال (۶۱/۸ درصد)، تعداد دانه در بلال (۴۱/۶ درصد) و عملکرد دانه (۳۸/۶ درصد) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد کاربرد توأم زئولیت (در سطح ۱۰ تن در هکتار) و نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند راهکار مناسبی در بهبود عملکرد ذرت و افزایش کارایی مصرف نیتروژن باشد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹

کلمات کلیدی:

تغذیه نیتروژن،

عملکرد دانه،

زئولیت کلینوپتیلولیت،

کود اوره

* عهده دار مکاتبات

Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir

مقدمه

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای رشد و تغذیه گیاهان زراعی بوده و کاربرد مقدار بهینه آن برای پایداری تولید در کشاورزی و سلامت محیط‌زیست، اهمیت فراوانی دارد (۱۶). با توجه به این که نیتروژن خاک نمی‌تواند برای نیاز گیاهان کافی باشد، نیتروژن مورد نیاز گیاهان با کاربرد کودهای نیتروژن‌دار تأمین می‌شود (۵). مدیریت صحیح کودهای نیتروژنی می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف آن‌ها در گیاهان زراعی شود (۵ و ۱۶). در گیاهان زراعی یک‌ساله بازیافت نیتروژن به دلیل هدررفت آن پایین است (۱۶).

کمبود نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد ذرت می‌باشد. بنابراین مدیریت کوددهی نیتروژن یکی از عوامل مهم پیش رو در بهبود عملکرد ذرت می‌باشد (۱۰). ارزان بودن کود اوره و درصد بالای نیتروژن آن در مقایسه با سایر کودهای نیتروژنی، سبب شده این کود پرمصرف‌ترین کود نیتروژنی مورد استفاده در تولید گیاهان زراعی جهان باشد. با این حال به دلیل آزادسازی سریع نیتروژن از کود اوره و نیز هیدرولیز سریع اوره به آمونیوم (NH_4^+) و سپس تبدیل آن به نترات (NO_3^-)، هدررفت آن افزایش یافته و سبب کاهش فراهمی نیتروژن برای گیاه می‌شود (۲۷). از این رو پتانسیل هدررفت نیتروژن در کاربرد کود اوره بالا می‌باشد.

از آنجایی که یکی از چالش‌های کشاورزی نوین، افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی است (۲۰)، بنابراین استفاده از راهکارهای مناسب جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن (NUE^1) در گیاه بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۲۵). بهبود کارایی مصرف کودهای نیتروژن به شدت وابسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است (۲۰). از این رو یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود کارایی مصرف نیتروژن در گیاهان و کاهش هدررفت نیتروژن در خاک مورد توجه قرار

گرفته، استفاده از اصلاح‌کننده‌های طبیعی مانند زئولیت^۲ در اراضی کشاورزی می‌باشد (۱۲ و 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 (۱۹). زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های مختلف خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد (۱، ۱۱ و ۱۴). اسلام و همکاران^۳ (۳) گزارش کردند کاربرد زئولیت در سطح ۵ تن در هکتار، سبب افزایش معنی‌دار طول بلال، تعداد دانه در بلال، وزن دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت شد.

زئولیت کانی طبیعی و ارزان قیمتی بوده که به دلیل سطح ویژه بالا می‌تواند با نگهداشت اوره در ساختار منافذ خود، آبشویی آن در خاک اطراف ریشه را کاهش داده و سبب به تأخیر انداختن تبدیل اوره به آمونیوم می‌شود (۱۳ و ۱۸). همچنین، زئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا و توانایی بالای جذب آمونیوم، سبب کاهش تصعید آمونیوم و کاهش تبدیل آمونیوم به نترات، و به دنبال آن کاهش آبشویی نترات در خاک شود (۱۳ و ۱۹). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده کاربرد زئولیت در خاک سبب کاهش نیتریفیکاسیون^۴ و کاهش آبشویی نترات در خاک می‌شود (۲۰). نتایج پژوهش اسلام و همکاران (۳) نشان داد در اثر کاربرد زئولیت در سطح ۵ تن در هکتار، نیتروژن کل خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. راوالی و همکاران^۵ (۲۵) گزارش کردند کاربرد زئولیت در سطح ۷/۵ تن در هکتار در سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن شامل ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (از منبع کود اوره)، سبب

2- Zeolite

3- Aslam *et al.*

4- Nitrification

5- Ravali *et al.*

1- Nitrogen use efficiency

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در شهرستان دهگلان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. محل اجرای پژوهش ۱۸۵۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه مورد پژوهش به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. این منطقه از نظر شرایط آب و هوایی جزو مناطق نیمه خشک و سرد استان کردستان است. میانگین دما و بارندگی سالیانه در این منطقه به ترتیب ۱۰ درجه سلسیوس و ۹ / ۳۵۰ میلی‌متر است. برای انجام این پژوهش ابتدا از خاک مزرعه محل اجرای پژوهش، نمونه مرکب خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند (۶). خاک مورد مطالعه دارای بافت لومی رسی و غیرشور بود (جدول ۱). همچنین ویژگی‌های زئولیت مورد استفاده در این پژوهش از نوع زئولیت کلینوپتیلولیت بود که برخی از ویژگی‌های آن در جدول ۲ آمده است.

افزایش معنی‌دار غلظت نترات و آمونیوم در خاک، جذب نیتروژن در اندام هوایی، کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه ذرت شد.

ذرت (*Zea mays* L) یکی از غلات مهم و از نظر تولید سومین محصول کشاورزی در جهان است (۲۲). نیاز آینده کودهای نیتروژنی در کشور با توجه به تقاضای جمعیت در حال رشد به غذای بیش‌تر و متنوع‌تر، به تغییر سطح زیر کشت غلات و کارایی مصرف نیتروژن وابسته است. از آنجایی که پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد سطح زیر کشت غلات در کشور به ثبات رسیده، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در این مسیر اهمیت زیادی خواهد داشت (۱۵). بنابراین با توجه به این که تاکنون مطالعات چندانی در زمینه تأثیر کاربرد توأم سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن، رشد و عملکرد ذرت انجام نشده است، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف زئولیت کلینوپتیلولیت و نیتروژن (از منبع کود اوره) بر کارایی مصرف نیتروژن، رشد و عملکرد ذرت سینگل کراس فجر (KSC۲۶۰)، در شرایط مزرعه جهت تعیین مقدار بهینه کاربرد آن‌ها بود.

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table (1) physico-chemical properties of the studied soil

| پتاسیم قابل دسترس Available K | فسفر قابل دسترس Available P | نیتروژن کل Total N | هدایت الکتریکی (EC) | pH | ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) | کربن آلی (OC) | شن Sand | سیلت Silt | رس Clay | ویژگی Property |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-----|------------------------------------|------------------|------------|--------------|------------|-------------------|
| mg kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | dS m ⁻¹ | - | cmol _c kg ⁻¹ | % | % | % | % | واحد Unit |
| 306 | 13.4 | 1.22 | 0.42 | 7.8 | 15.7 | 0.76 | 25.1 | 43.7 | 31.2 | مقدار Value |

جدول (۲) برخی از ویژگی‌های زئولیت مورد استفاده در این پژوهش

Table (2) Some characteristics of the zeolite used in this study

| CaO | K ₂ O | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) | هدایت الکتریکی (EC) | pH | ویژگی Property |
|-----|------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------|-----|-------------------|
| % | | | | cmol _c kg ⁻¹ | dS m ⁻¹ | - | واحد Unit |
| 2.1 | 5.1 | 13.5 | 66.5 | 160.2 | 0.32 | 7.9 | مقدار value |

که در آن رابطه NUE، کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) در هر تیمار، Y_F ، عملکرد دانه در تیمار کود داده شده (کیلوگرم در هکتار)، Y_0 عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) (کیلوگرم در هکتار) و N_F مقدار نیتروژن مصرف شده در اثر کاربرد کود اوره (کیلوگرم در هکتار) است. همچنین در هر تیمار، پس از برداشت گیاه، نمونه برداری خاک انجام شد و نیتروژن کل خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اندازه گیری شد (۶).

تجزیه آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. قبل از تجزیه داده‌ها، تست نرمال بودن آن‌ها انجام شد. پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. نمودارها نیز در محیط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی کاربرد زئولیت بر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک معنی دار بود. در حالی که اثر اصلی کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر CEC خاک معنی دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی داده‌ها نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب افزایش معنی دار CEC خاک شد. بدین ترتیب که مقدار CEC خاک در تیمارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت به ترتیب ۴۷/۹ و ۴۷/۱ و ۲۸/۶ درصد بیش تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱). نتایج همچنین نشان داد اختلاف معنی داری میان مقدار CEC خاک در دو تیمار کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت وجود نداشت (شکل ۱). زئولیت‌های طبیعی دارای بار منفی بوده و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم دارند. شبکه حفره مانند زئولیت سبب ایجاد سطح ویژه بالا، افزایش CEC خاک و در نتیجه افزایش نگاه‌داری و تبادل عناصر غذایی می‌شود (۲۶). اصلاتی و همکاران^۳ (۴) نیز گزارش کردند در

این پژوهش به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو عامل ۱- زئولیت (در چهار سطح شامل صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) در کرت‌های اصلی و ۲- کود نیتروژن (در پنج سطح شامل بدون مصرف کود (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره) در کرت‌های فرعی و در مجموع ۶۰ نمونه انجام شد. پس از آماده‌سازی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش و ایجاد کرت‌هایی با ابعاد ۳×۵ متر، تیمارهای مورد نظر اعمال شدند. یک سوم کود نیتروژنی در هر تیمار، هنگام کاشت به صورت پایه و بقیه کود، در مرحله ۶ تا ۸ برگی به صورت سرک اعمال شد. همچنین بر اساس نتایج آزمون خاک و نیاز گیاه و جهت جلوگیری از تنش تغذیه‌ای، قبل از کشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، به صورت کود پایه به خاک اضافه شد.

به منظور اعمال تیمارهای سطوح مختلف زئولیت کلینوپتیلولیت، قبل از کشت زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه بود، زئولیت به صورت دستی به خاک اضافه شده و به وسیله دیسک و روتواتور با خاک مخلوط گردید. پس از اعمال تیمارها بر اساس طرح آزمایشی کشت بذر هیبرید ذرت دانه‌ای زودرس سینگل کراس فجر (KSC 260) در اول خرداد سال ۱۴۰۰ انجام شد.

در انتهای مرحله داشت طول بلال، سطح برگ، غلظت نیتروژن برگ (۶)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد گیاه (تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن دانه در بلال) نیز اندازه گیری شد.

شاخص کارایی مصرف نیتروژن (NUE) که بیان‌کننده افزایش عملکرد به‌زای نیتروژن مصرف شده می‌باشد، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (۱۰).

$$NUE = (Y_F - Y_0) / N_F \quad (2)$$

2- Cation exchange capacity

3- Aslani et al.

1- Nitrogen use efficiency

۳. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد زئولیت بر نیتروژن کل خاک نشان دهنده افزایش معنی دار آن در اثر کاربرد سطوح ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود (شکل ۲).

اثر کاربرد سطوح مختلف زئولیت (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) در یک خاک تحت کشت گندم CEC خاک به طور معنی داری (۲ تا ۷ سانتی مول بر کیلوگرم) افزایش یافت.

غلظت نیتروژن کل خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی کاربرد زئولیت بر نیتروژن خاک معنی دار بود (جدول

جدول (۳) تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، غلظت نیتروژن خاک و گیاه و کارایی مصرف نیتروژن

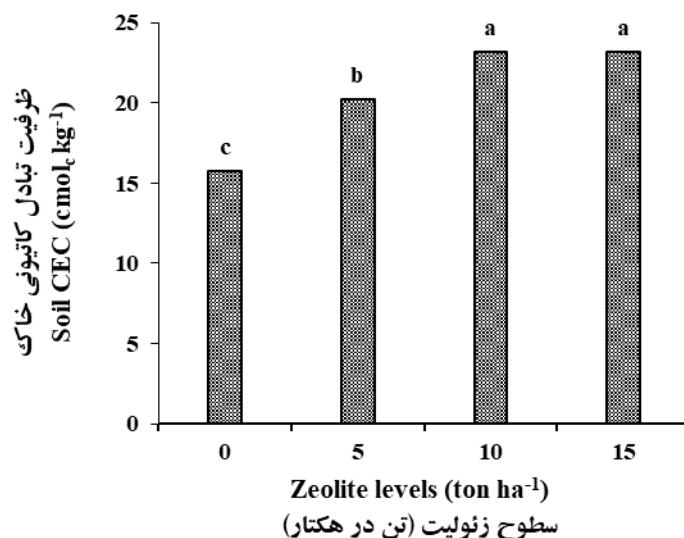
Table (3) Variance analysis for the effect of different levels of zeolite and nitrogen on soil cation exchange capacity, soil and plant nitrogen concentration, and nitrogen use efficiency

| Mean Square میانگین مربعات | | | | درجه آزادی (df) | منابع تغییرات Source of variation |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------|---|
| کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen Use Efficiency (NUE) | غلظت نیتروژن برگ Leaf N Concentration | نیتروژن کل خاک Soil Total N | ظرفیت تبادل کاتیونی خاک Soil CEC | | |
| 0.02 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | 0.00005 ^{ns} | 0.05 ^{ns} | 2 | بلوک Block |
| 2.30 ^{**} | 0.21 ^{**} | 0.001 ^{**} | 12.01 ^{**} | 3 | زئولیت Zeolite |
| 0.01 | 0.006 | 0.0001 | 0.034 | 6 | خطای کرت اصلی Main plot error |
| 1.04 ^{**} | 0.50 ^{**} | 0.002 ^{**} | 0.016 ^{ns} | 4 | نیتروژن Nitrogen |
| 0.74 ^{**} | 0.02 [*] | 0.0001 ^{ns} | 0.014 ^{ns} | 12 | زئولیت × نیتروژن Zeolite × Nitrogen |
| 0.09 | 0.004 | 0.0001 | 0.012 | 32 | خطای کرت فرعی Sub plot error |
| 17.17 | 3.81 | 9.02 | 3.64 | - | ضریب تغییرات Coefficient of variation (%) |

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and * are non-significant and significant at the probability level of 1 and 5%, respectively.

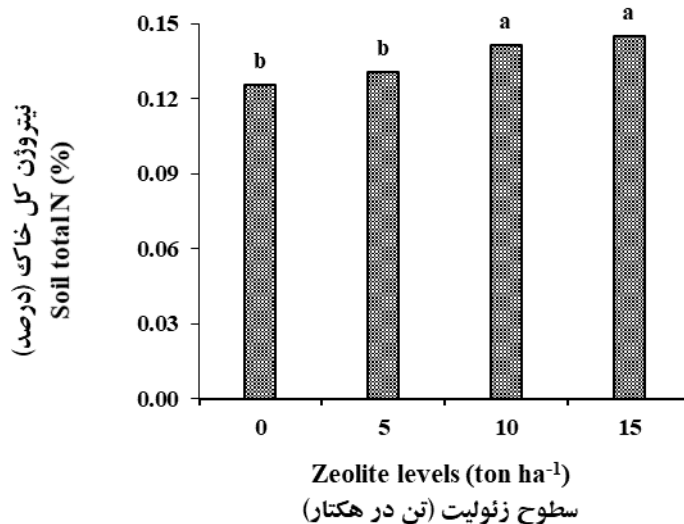
دستباز و همکاران: تأثیر کاربرد زئولیت و نیتروژن بر...



شکل (۱) مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف زئولیت بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک
Figure (1) Mean comparison of the effects of zeolite and nitrogen on soil CEC

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test ($P < 0.05$)



شکل (۲) مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف زئولیت بر نیتروژن کل خاک
Figure (2) Mean comparison of the effects of zeolite on soil total N

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test ($P < 0.05$)

کل خاک در این تیمارها را به افزایش توانایی خاک برای نگهداشت بیش‌تر آمونیوم نسبت داد. زئولیت همچنین به دلیل داشتن منافذ ریز در ساختار خود، آمونیوم را در منافذ خود

سطح ویژه و CEC بالای زئولیت سبب می‌گردد که CEC خاک افزایش یابد. با توجه به افزایش معنی‌دار CEC خاک در تیمارهای کاربرد زئولیت (شکل ۱)، می‌توان افزایش نیتروژن

افزایش نیتروژن کل خاک (شکل ۲) و همچنین بهبود ویژگی‌های مختلف خاک و در نتیجه بهبود شرایط برای جذب نیتروژن توسط گیاه باشد. نتایج این پژوهش با نتایج رامش و همکاران^۲ (۲۴)، لیتا^۳ (۱۷)، راوالی و همکاران (۲۵) که در پژوهش خود اثر مثبت کاربرد نیتروژن در افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه را گزارش کردند، مشابه بود.

شاخص‌های رشدی گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نیتروژن و نیتروژن بر اثر متقابل آن‌ها بر سطح برگ و طول بلال، معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل داده‌ها نشان داد کاربرد سطوح مختلف نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد (جدول ۵). مقایسه تیمارهای مختلف نشان داد بیش‌ترین مقادیر سطح برگ و طول بلال مربوط به تیمارهای کاربرد ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار نیتروژن بود. همچنین کم‌ترین مقدار سطح برگ (۱۰۷۵ سانتی‌متر مربع) و طول بلال (۱۴/۴ سانتی‌متر)، مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود نیتروژن و نیتروژن) بود (جدول ۵). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مؤثر در رشد رویشی گیاهان است و عدم کاربرد نیتروژن، مراحل رویشی گیاه را به تأخیر انداخته و سرعت رشد سطح برگ را کاهش می‌دهد در این شرایط کارایی استفاده از نور خورشید و عملکرد فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد. در حالی که کاربرد نیتروژن سبب افزایش رشد گیاه، سطح برگ و فتوسنتز در گیاهان می‌شود (۷). شاخص سطح برگ در عملکرد گیاه نقش مؤثری دارد. تقریباً تمام زیست‌توده گیاه از طریق فتوسنتز برگ تشکیل می‌شود که یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد فتوسنتزی گیاهان است. در اثر کاربرد کود نیتروژن، آسیمیلسیون^۴ آمونیاک افزایش رشد برگ و شاخص سطح برگ می‌شود (۲۲).

نگه‌داشته و آمونیم از نظر فیزیکی برای باکتری‌های نیتریفیکاتور به شکل غیر قابل دسترس بماند بدین ترتیب نیتروژن می‌تواند به عنوان یک عامل کندرها برای کود اوره عمل کند که این امر می‌تواند سبب کاهش نیتریفیکاسیون و تبدیل آمونیم به نترات و به دنبال آن کاهش آشویی و هدررفت نیتروژن از خاک شود (۱۶). لاتیفاه و همکاران^۱ (۱۶) گزارش کردند کاربرد نیتروژن کلینوپیتولیت در خاک سبب افزایش نیتروژن در خاک شد. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد کاربرد توأم اوره و نیتروژن می‌تواند نیتروژن قابل دسترس را افزایش دهد.

غلظت نیتروژن در گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نیتروژن و نیتروژن بر اثر متقابل آن‌ها بر سطح برگ و طول بلال، معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن برگ شد (شکل ۳). نتایج نشان داد در سطوح مختلف کاربرد نیتروژن، اختلاف معنی‌داری بین غلظت نیتروژن در برگ در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن وجود نداشت. همچنین در سطوح مختلف کود نیتروژن، اختلاف معنی‌داری بین غلظت نیتروژن در برگ در تیمارهای ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار نیتروژن، مشاهده نشد. به طور کلی بیش‌ترین غلظت نیتروژن در برگ گیاه (۱/۹۷ و ۱/۹۸ درصد) که مربوط به تیمارهای کاربرد ۱۵ تن در هکتار نیتروژن همراه با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کاربرد ۱۰ تن در هکتار نیتروژن همراه با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. بنابراین می‌توان از تیمار مقدار کم‌تر نیتروژن استفاده کرد و بدین ترتیب از مصرف اضافی آن جلوگیری کرده و صرفه جویی اقتصادی نمود (شکل ۳-۱۱).

افزایش غلظت نیتروژن در اثر کاربرد نیتروژن می‌تواند به دلیل نگهداشت نیتروژن و کاهش هدررفت آن و به دنبال آن

2- Ramesh *et al.*

3- Litaor *et al.*

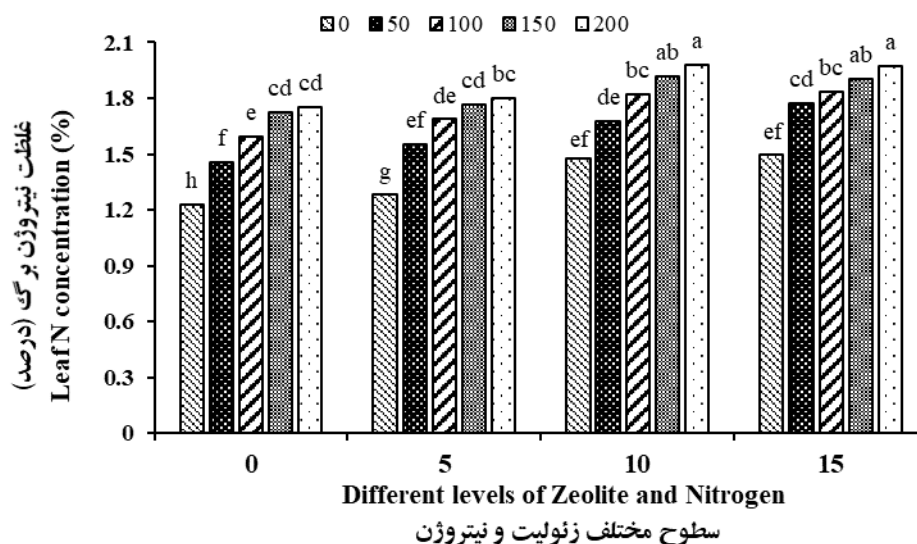
4 Assimilation

1- Latifah *et al.*

دستباز و همکاران: تأثیر کاربرد زئولیت و نیتروژن بر...

غذایی را برای مدت طولانی تری برای گیاه فراهم می کند و سبب بهبود رشد گیاه می شود. این عوامل شاخص سطح برگ و رشد گیاه را افزایش داده و در نهایت سبب افزایش عملکرد گیاه می شوند (۸ و ۲۴). بهبود غلظت نیتروژن کل خاک (شکل ۲) و نیتروژن برگ (شکل ۳) در اثر کاربرد زئولیت، تأیید کننده این نتایج است.

کاربرد زئولیت با کاهش سرعت رهاسازی نیتروژن و جلوگیری از هدررفت و آبشویی آن، کارایی مصرف کود نیتروژن را افزایش می دهد. همچنین زئولیت می تواند از طریق افزایش تخلخل کل خاک و رشد و توسعه بهتر ریشه سبب افزایش شاخص های رشدی ذرت شود. زئولیت با ساختمان کریستالی و متخلخل خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می تواند نقش تغذیه ای داشته و بهبود رشد گیاه شود (۸ و ۲۰). افزون بر این، زئولیت، عناصر



شکل (۳) مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف زئولیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) و نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر غلظت نیتروژن برگ

Figure (3) Mean comparison of the interaction effect of zeolite (0, 5, 10 and 15 ton ha⁻¹) and nitrogen (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) on leaf N concentration

میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test ($P < 0.05$)

جدول (۴) تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table (4) Variance analysis for the effect of different levels of zeolite and nitrogen on growth indices, yield and yield components of maize

| عملکرد دانه Grain yield | میانگین مربعات Mean square | | | | | | درجه آزادی (df) | منابع تغییرات Source of variation |
|----------------------------|---|---|---|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|--|
| | تعداد ردیف در بلال Row number in cob | تعداد دانه در بلال Grain number in cob | وزن دانه در بلال Grain weight in cob | قطر بلال Cob diameter | طول بلال Cob length | سطح برگ Leaf Area (LA) | | |
| 0.85 ^{ns} | 2.03 ^{ns} | 2787 ^{ns} | 195.9 ^{ns} | 0.17 ^{ns} | 1.65 ^{ns} | 6274 ^{ns} | ۲ | بلوک Block |
| 2.17 ^{**} | 0.57 ^{ns} | 24607 ^{ns} | 614.2 [*] | 0.61 ^{ns} | 3.17 [*] | 215716 ^{**} | ۳ | زئولیت Zeolite |
| 0.049 | 1.93 | 14140 | 252.5 | 0.176 | 1.72 | 85091 | ۶ | خطای کرت اصلی Main plot error |
| 3.43 ^{**} | 0.61 ^{ns} | 4145 ^{ns} | 201.1 [*] | 0.174 ^{ns} | 3.53 [*] | 159009 ^{**} | ۴ | نیتروژن Nitrogen |
| 1.78 ^{**} | 1.21 ^{ns} | 14457 [*] | 314.4 [*] | 0.162 ^{ns} | 2.77 [*] | 76322 ^{**} | ۱۲ | زئولیت × نیتروژن Zeolite × Nitrogen |
| 0.26 | 1.15 | 5142 | 123.4 | 0.13 | 1.11 | 1058 | ۳۲ | خطای کرت فرعی Sub plot error |
| 15.4 | 7.04 | 16.5 | 17.1 | 8.70 | 10.7 | 19.6 | - | ضریب تغییرات Coefficient of variation (%) |

^{ns}، ^{**} و ^{*} به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, ^{**} and ^{*} are non-significant and significant at the probability level of 1 and 5%, respectively.

دستباز و همکاران: تأثیر کاربرد زئولیت و نیتروژن بر...

جدول (۵) مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر سطح برگ و طول بلال
Table (5) Mean comparison of the effects of zeolite and nitrogen on leaf area and cob length

| سطح کاربرد زئولیت (تن در هکتار) Zeolite levels (ton ha ⁻¹) | | | | سطح کاربرد نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen level (kg ha ⁻¹) |
|---|--------------------|---------------------|---------------------|---|
| 15 | 10 | 5 | 0 | |
| سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf Area (cm ²) | | | | |
| 1443 ^{de} | 1425 ^e | 1285 ^{fg} | 1075 ^j | 0 |
| 1524 ^c | 1495 ^{cd} | 1347 ^f | 1165 ^{ij} | 50 |
| 1589 ^b | 1567 ^b | 1475 ^{cd} | 1190 ^{hi} | 100 |
| 1721 ^a | 1684 ^a | 1493 ^c | 1280 ^{fg} | 150 |
| 1726 ^a | 1702 ^a | 1514 ^c | 1290 ^{fg} | 200 |
| طول بلال (سانتی متر) cob length (cm) | | | | |
| 15.1 ^{ef} | 14.9 ^{ef} | 14.7 ^{fg} | 14.4 ^g | 0 |
| 15.7 ^{de} | 15.6 ^{de} | 15.1 ^{fg} | 14.8 ^{fg} | 50 |
| 16.9 ^{ab} | 16.8 ^{ab} | 15.6 ^{def} | 15.3 ^{def} | 100 |
| 17.8 ^a | 17.5 ^a | 16.3 ^{bc} | 15.9 ^{cd} | 150 |
| 17.9 ^a | 17.7 ^a | 16.5 ^b | 16.1 ^{cd} | 200 |

میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P<0.05) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test (P<0.05)

عملکرد و اجزای عملکرد

در هکتار زئولیت بود. در سطوح کاربرد زئولیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری میان مقدار عملکرد دانه در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، مشاهده نشد (جدول ۶). مقایسه تیمارهای کاربرد زئولیت نیز نشان داد در سطوح مختلف کاربرد نیتروژن، تأثیر سطح کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بر عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سطح کاربرد ۵ تن بر هکتار آن بود. در حالی‌که اختلاف تیمارهای ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت، از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). بنابراین می‌توان از تیمار مقدار کم‌تر زئولیت استفاده کرد و بدین ترتیب از مصرف اضافی آن جلوگیری کرده و صرفه جویی اقتصادی نمود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی زئولیت و نیتروژن بر تعداد دانه و تعداد ردیف در بلال معنی‌دار نبود. در حالی‌که اثر متقابل نیتروژن و زئولیت بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که اثر اصلی و متقابل کاربرد زئولیت و کود نیتروژن بر وزن دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقادیر تعداد دانه در بلال، وزن دانه در بلال و عملکرد دانه مربوط به تیمارهای کاربرد ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود (جدول ۶). مربوط به تیمار سطح کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و سطح ۱۵ تن

جدول (۶) مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه

Table (5) Mean comparison of the effects of zeolite and nitrogen on plant yield and yield components

| سطح کاربرد زئولیت (تن در هکتار) Zeolite levels (ton ha ⁻¹) | | | | سطح کاربرد نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen level (kg ha ⁻¹) |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|---|
| 15 | 10 | 5 | 0 | |
| تعداد دانه در بلال Grain number in cob | | | | |
| 462.7 ^{cd} | 458.4 ^{cd} | 401.2 ^{fg} | 385.3 ^g | 0 |
| 497.3 ^{bc} | 486.5 ^{bc} | 414.5 ^{ef} | 405.2 ^{fg} | 50 |
| 518.4 ^b | 508.4 ^b | 438.2 ^{de} | 428.5 ^{def} | 100 |
| 554.2 ^a | 545.7 ^a | 467.5 ^{cd} | 456.7 ^d | 150 |
| 569.1 ^a | 557.8 ^a | 475.9 ^c | 467.8 ^{cd} | 200 |
| وزن دانه در بلال (گرم) Grain weight in cob (g) | | | | |
| 90.2 ^{ghi} | 85.3 ^{hi} | 77.8 ^{ih} | 71.5 ^k | 0 |
| 99.5 ^{ef} | 97.3 ^{efg} | 91.5 ^{gh} | 84.4 ^{ij} | 50 |
| 108.2 ^{bcd} | 105.8 ^{cd} | 99.4 ^{ef} | 93.2 ^{fgh} | 100 |
| 116.4 ^{ab} | 115.7 ^{ab} | 108.3 ^{bcd} | 98.5 ^{ef} | 150 |
| 120.4 ^a | 119.2 ^a | 110.6 ^{bc} | 101.9 ^{de} | 200 |
| عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton ha ⁻¹) | | | | |
| 6.62 ^{ef} | 6.44 ^{efg} | 5.98 ^{hi} | 5.72 ⁱ | 0 |
| 6.92 ^{de} | 6.72 ^{def} | 6.48 ^{efg} | 6.17 ^{gh} | 50 |
| 7.38 ^{bcd} | 7.27 ^{cd} | 6.94 ^{de} | 6.76 ^{de} | 100 |
| 8.04 ^a | 7.93 ^a | 7.52 ^{bc} | 7.41 ^{bcd} | 150 |
| 8.11 ^a | 7.98 ^a | 7.64 ^b | 7.49 ^{bc} | 200 |

میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P<0.05) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test (P<0.05)

پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، برخی هورمون‌ها، کلروفیل و انواع دیگری از مواد سازنده اولیه و ثانویه در گیاهان می‌باشد. کاربرد کود نیتروژن و زئولیت از طریق افزایش جذب نیتروژن گیاه، سبب افزایش شاخص سطح برگ و همچنین سرعت بالاتر گسترش سطح برگ می‌شوند و در نتیجه آسمیلات بیشتری به سمت اندام‌های زایشی منتقل شده و در نهایت عملکرد دانه نسبت به

بر اساس نتایج عملکرد دانه، می‌توان گفت سطح کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار همراه با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، می‌تواند سطح بهینه کاربرد نیتروژن و زئولیت در بهبود عملکرد دانه با افزایش ۴۶/۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد کود نیتروژن و زئولیت) باشد. نیتروژن یکی از اجزاء تشکیل‌دهنده بسیاری از مولکول‌های مهم از جمله

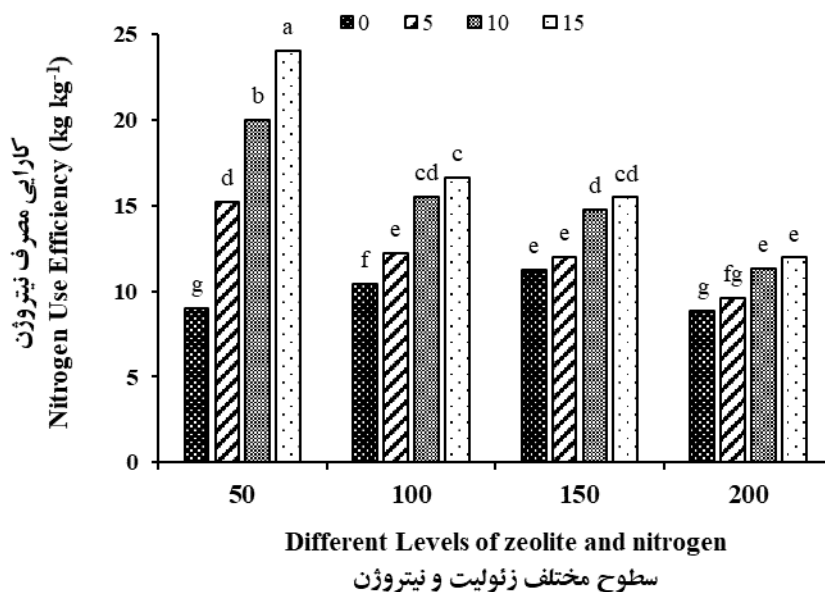
تغذیه‌ای ذرت را دلیل افزایش عملکرد گیاه بیان کردند. راولی و همکاران (۲۵) تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد ذرت را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با کاربرد زئولیت در سطح ۷/۵ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت شد. این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مشابه بود.

کارایی مصرف نیتروژن

اثر اصلی کاربرد زئولیت و کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقادیر شاخص کارایی مصرف نیتروژن مربوط به تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود، (شکل ۴). با افزایش سطح کاربرد کود نیتروژن از ۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. در حالی‌که با تغییر سطح کاربرد کود نیتروژن از ۱۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، در سطوح مختلف کاربرد زئولیت (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) کارایی مصرف نیتروژن تغییر معنی‌داری نکرد. در تمامی سطوح کاربرد زئولیت کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳-۲۱). مقایسه تیمارهای کاربرد زئولیت نیز نشان داد در سطوح مختلف کاربرد نیتروژن، تأثیر سطح کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بر کارایی مصرف نیتروژن، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سطح کاربرد ۵ تن بر هکتار آن بود. در حالی‌که اختلاف تیمارهای ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت، از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴).

شرایط عدم کاربرد زئولیت و نیتروژن افزایش می‌یابد (۲۵). به‌نظر می‌رسد در مرحله تشکیل دانه به دلیل کاربرد زئولیت و بهینه بودن شرایط فیزیکی و وضعیت رطوبتی خاک و محیط ریشه سبب بهبود ظرفیت فتوسنتزی و ماده-سازی گیاه و در نتیجه افزایش تعداد دانه در بلال شده است. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد زئولیت را می‌توان به توانایی زئولیت در نگه‌داشت نیتروژن در خاک و جلوگیری از آبخوبی و هدررفت آن در خاک و در نتیجه بهبود فراهمی آن برای گیاه نسبت داد (۱۶). افزون بر این، فراهمی مناسب نیتروژن و یا آزادسازی آهسته آن در مراحل پایانی رویشی، می‌تواند در بهبود کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد گیاه مؤثر باشد (۹). احتمالاً بهبود فراهمی سایر عناصر غذایی در خاک و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه، در اثر کاربرد این سطوح زئولیت، از دیگر دلایل این نتایج باشد.

نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که زئولیت به‌دلیل داشتن ساختار حفره‌ای و سطح ویژه بالا، توانایی بالایی در در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، نگه‌داشت آب و حفظ رطوبت خاک دارد و کارایی مصرف آب در گیاه را افزایش می‌دهد (۱۲ و ۲۳). بنابراین احتمالاً کاربرد زئولیت با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش کارایی مصرف آب، در بهبود عملکرد گیاه مؤثر بوده است. تأثیر مثبت زئولیت به‌عنوان منبع سیلیسیم در تغذیه گیاه و نقش سیلیسیم در تحریک فتوسنتز گیاه (۹)، نیز می‌تواند از دیگر دلایل افزایش عملکرد دانه باشد. لاتیفا و همکاران (۱۶) نیز گزارش کردند کاربرد زئولیت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت در مقایسه با تیمار بدون کاربرد زئولیت شد. آن‌ها بهبود فراهمی عناصر غذایی برای گیاه و بهبود وضعیت



شکل (۴) مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف زئولیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) و نیتروژن (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر کارایی مصرف نیتروژن (NUE)

Figure(4) Mean comparison of the interaction effect of zeolite (0, 5, 10 and 15 ton ha⁻¹) and nitrogen (50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) on nitrogen use efficiency (NUE)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند.

Means with similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's test ($P < 0.05$)

هدررفت آن و به دنبال آن بهبود تغذیه نیتروژن در ذرت و افزایش عملکرد آن باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد از میان سطوح مختلف کاربرد نیتروژن، اگرچه بیش‌ترین عملکرد دانه (۷/۱۱ تن در هکتار) مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود، اما عملکرد دانه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نیز کاهش معنی‌داری نداشت. افزون بر این کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیش‌تر از تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین با کاهش مصرف کود نیتروژن از ۲۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌توان افزون بر کاهش هزینه‌های تولید، و افزایش کارایی مصرف نیتروژن، به عملکرد نسبتاً مشابهی دست یافت. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف زئولیت سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش نیتروژن کل در خاک، بهبود تغذیه نیتروژن در

کاهش کارایی مصرف نیتروژن، با افزایش مقدار کاربرد کود اوره، بر اساس قانون بازده نزولی عناصر غذایی قابل توجه است. به‌طور کلی، زمانی که گیاه به عناصر غذایی نیاز دارد، نسبت به کاربرد آن‌ها پاسخ مثبت نشان می‌دهد، و با کاهش تدریجی نیاز گیاه به عنصر غذایی، پاسخ آن به مقادیر بیش‌تر آن عنصر غذایی کم‌تر می‌شود. بنابراین، معمولاً کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مقدار کاربرد آن روندی کاهشی خواهد داشت (۲۶ و ۲۸). کاهش کارایی مصرف نیتروژن، با افزایش مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی مختلف مشاهده شده است (۲۹). همچنین احتمالاً یکی دیگر از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در اثر افزایش مقدار کاربرد آن، افزایش هدررفت آن باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن شد که این نتایج تأیید‌کننده اثرات مثبت کاربرد زئولیت در بهبود نگاه‌داشت نیتروژن در خاک و کاهش

گیاه و افزایش رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شد که این اثر مثبت زئولیت به سطح کاربرد آن بستگی داشت. از میان سطوح مختلف زئولیت کاربرد سطوح ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار در مقایسه با سطح کاربرد ۵ تن در هکتار، اثرات مثبت بیش‌تری در بهبود رشد و عملکرد ذرت داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد بین دو تیمار ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار از نظر تغذیه نیتروژن و بهبود رشد و عملکرد ذرت، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد زئولیت در سطح ۱۰ تن در هکتار، همراه با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن می‌تواند راهکار مناسبی جهت بهبود تغذیه نیتروژن، مدیریت مصرف کود نیتروژن و بهبود کارایی مصرف آن و افزایش رشد و عملکرد ذرت، باشد.

References

1. Amirahmadi, E., Ghorbani, M., and 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>
2. Ashfaq, F., Inam, A., Iqbal, S. and Sahay, S. 2017. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.). *South African Journal of Botany*, 111: 153-160.
3. Aslam, M. A., Aziz, I., Shah, S. H., Muhammad, S., Latif, M., and Khalid, A. 2021. Effects of biochar and zeolite integrated with nitrogen on soil characteristics, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 53(6), 2047-2057.
4. Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., Hosseinpanahi, F., and Khaleghpanah, N. 2021. Effect of zeolite and nitrogen on some basic soil properties and wheat yield in potato-wheat rotation. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, (Scientific Journal of Agriculture), 44(1), 917-119. (In Persian with English abstract)
5. Beig, B., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Hussain, A., Zia, M. H. and Mehran, M. T. 2020. Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10): 1510-1533.
6. Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2nd Ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.
7. Choo, L. N. L. K., Ahmed, O. H., Razak, N. A., and Sekot, S. 2022. Improving nitrogen availability and *ananas comosus* L. merr var. moris productivity in a tropical peat soil using clinoptilolite zeolite. *Agronomy*, 12(11), 2750.
8. De Smedt, C., Steppe, K., and Spanoghe, P. 2017. Beneficial effects of zeolites on plant photosynthesis. *Advanced Materials Science*, 2(1): 1-11.
9. Elrys, A. S., El-Maati, M. F. A., Abdel-Hamed, E. M. W., Arnaout, S. M., El-Tarabily, K. A. and Desoky, E. S. M. 2021. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209: 111839.
10. Garcia, P. L., and Trivelin, P. C. O. 2018. Methods to quantify the nitrogen derived from the fertilizer in maize applying blends of controlled-release and NBPT-treated urea. *Journal of Plant Nutrition*, 46: 1066-1076.
11. Ghorbani, M., Amirahmadi, E., Konvalina, P., Moudry, J., Bárta, J., Kopecký, M., Teodorescu, R. I., and Bucur, R. D., 2022. Comparative influence of biochar and zeolite on soil hydrological indices and growth characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Water*, 14(21): 3506. <https://doi.org/10.3390/w14213506>

12. 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.
13. Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., and Mierzwa-Hersztek, M. 2022. The use of zeolites as an addition to fertilisers—A review. *Catena*, 213: 106125.
14. 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 *Amaranthus hypochondriacus* under water-deficit stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3): 1427-1441.
15. Keshavarz, P. 2013. Management strategies to increase nitrogen use efficiency (NUE) in agriculture. *Land Management Journal*. 1(1): 47-54.
16. Latifah, O., Ahmed, O. H. and Majid, N. M. A. 2017. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*, 306: 152-159.
17. Litaor, M. I., Katz, L., and Shenker, M. 2017. The influence of compost and zeolite co-addition on the nutrients status and plant growth in intensively cultivated Mediterranean soils. *Soil Use and Management*, 33(1): 72-80.
18. Maghsoodi, M. R., Najafi, N., Reyhanitabar, A., and Oustan, S. 2020. Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled-release urea fertilizers. *Geoderma*, 379: 114644. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114644>
19. 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.
20. Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M. and Ondrisik, P., 2021. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3): 448. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
21. Mu, X., and Chen, Y. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 76-82.
22. Omar, L., Ahmed, O. H., Jalloh, M. B., and Nik Muhamad, A. M. 2020. Soil nitrogen fractions, nitrogen use efficiency and yield of *Zea mays* L. grown on a tropical acid soil treated with composts and clinoptilolite zeolite. *Applied Sciences*, 10(12): 4139. <https://doi.org/10.3390/app10124139>
23. Ozbahce, A., Tari, A. F., Gonulal, E. and Simsekli, N. 2018. Zeolite for enhancing yield and quality of potatoes cultivated under water-deficit conditions. *Potato Research*, 61(3): 247-259.
24. Ramesh, V., Jyothi, J. S., and Shibli, S. M. A. 2015. Effect of zeolites on soil quality, plant growth and nutrient uptake efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Root Crops*, 41(1): 25-31.
25. 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.
26. Sharma, L. K., and Bali, S. K. 2017. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, 10(1): 51.

<https://doi.org/10.3390/su10010051>

27. Souza, E. F., Soratto, R. P., Fernandes, A. M. and Rosen, C. J. 2019. Nitrogen source and rate effects on irrigated potato in tropical sandy soils. *Agronomy Journal*, 111 (1): 378-389.
28. Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A., and Datta, A. 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*, 156: 109-157.
29. Wang, C., Zang, H., Liu, J., Shi, X., Li, S., Chen, F., and Chu, Q. 2020. Optimum nitrogen rate to maintain sustainable potato production and improve nitrogen use efficiency at a regional scale in China. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40: 1-14.