Research Article

Agricultural Engin., 44(1) (2021) 97-119
DOI: 10.22055/AGEN.2021.37397.1603

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Effect of zeolite and nitrogen on some basic soil properties and wheat yield in potato-wheat rotation

P. Aslani[1], M. Davari[2], M. Ali Mahmoodi[3], F. Hosseinpanahi[4] and N. Khaleghpanah[5]

1. MSc Graduate, Departmentd of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran
2,3,5. Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran
4. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran

Received: 9 May 2021 Accepted: 21 June 2021

Abstract

Introduction: Soil quality is one aspect of sustainable agroecosystem management. The application of zeolite minerals alone or in combination with other soil amendments (organic and inorganic fertilizers) can, directly or indirectly, affect soil quality indicators. Considering the unique characteristics of zeolites, such as the low-cost and abundance of its mines in Iran and the large area of wheat cultivation in Kurdistan province, the need to study the effect of zeolite application on soil properties and wheat yield becomes apparent. Although there is a lot of research on the impact of zeolite on improving soil properties and increasing the yield of various crops, few studies have been done on its residual effects. Therefore, in this study, we investigated the effect of zeolite and nitrogen (N) application on some basic soil properties, N efficiency, and wheat yield under field conditions after two years of zeolite application.

Materials and Methods: Before conducting the research, a composite soil sample from the surface soil (0 to 30 cm depth) was collected and analyzed to assess the farm's soil properties. The experiment was laid out in a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the University of Kurdistan research farm in Dehgolan. The main plots consisted of natural zeolite at four levels (0, 5, 10, and 15 ton. ha^{-1}). Within each main plot, subplots were subjected to nitrogen applications at five levels (0, 50, 100, 150, and 200 kg. ha^{-1}). Urea fertilizer was used to supply the required nitrogen. Zeolite was only utilized in 2018 and mixed into the surface layer of soil. The experiment was repeated in 2019 except for no addition of zeolite. The field was under potato cultivation in the first year of the experiment and followed by wheat crop in the second year. Wheat cultivation (*Pishgam* cultivar) was done in 2019 by grain seeders in plots with dimensions of 4.5 × 8.25 m. At the end of cultivation season, harvest was done from each plot, and some plant traits (grain protein, thousand-grain weight, spike number, grain number in spike, an economic yield of the plant, biological yield of plant, harvest index, and chlorophyll concentration) were measured. In order to investigate the effect of zeolite on basic soil properties, soil samples were collected from plots in the second year after harvest, and a number of physical and chemical properties of the soil were measured [dry bulk density (ρ_b), particle density (ρ_p), total porosity (f), saturated hydraulic conductivity (K_s), electrical

© 2021 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

conductivity (EC), soil reaction (pH), cation exchange capacity (CEC), and total soil nitrogen (TN)]. Statistical analysis of data was performed using SAS 8.02 software.

Results and Discussion: The results from the second year indicated that the applications of zeolite or nitrogen alone or in combination with each other decreased dry bulk density and particle density of soil, but increased total porosity, saturated hydraulic conductivity, electrical conductivity, soil reaction, and cation exchange capacity. The porous structure of zeolite helps improve soil structure and increase porosity, thereby reducing the bulk density of the soil. Also, zeolites can affect the soil hydraulic conductivity due to channels in their structure. Zeolite is not acidic but marginally alkaline, and its use with fertilizers can help buffer soil pH levels. The very open structure of the zeolite and the similar pore network create a high specific surface area for the storage and exchange of nutrients. Therefore, different salts can be absorbed or desorbed from the zeolite structure. Desorption of salts from the zeolite can increase EC in the soil. The high cation exchange capacity and porosity of zeolite increase soil CEC, which increases the soil's ability to retain nutrients such as ammonium. The results also revealed that the grain protein, thousand-grain weight, spike number, grain number in spike, an economic yield of the plant, biological yield of plant and harvest index, with mean increasing about 37%, 6%, 30%, 15%, 43%, 26% and 7%, respectively, compared with the control, were significantly affected by zeolite and nitrogen applications, and also zeolite and nitrogen interaction. However, the chlorophyll concentration was not meaningfully influenced by them. Increased grain yield can be attributed to reduced nitrogen leaching and increased soil water holding capacity in the presence of zeolite, which improves nitrogen status and the availability of water for growth. Drought stress significantly affects grain yield, harvest index, thousand-grain weight, spike number, grain number in spike, and plant height. The use of zeolite can maintain soil moisture for a longer period and mitigate the adverse effects of drought stress on the crops.

Conclusion: The improved agronomic traits and enhanced grain yield potentials induced by zeolite amendment were related to decreased drought stress in wheat crops and the increase in soil quality indicators and N uptake. The zeolite application probably enhanced NH_4^+–N retention in the topsoil and prevented NO_3^-–N from leaching into the subsoil. In general, the results showed that the combined application of zeolite and N can be a beneficial approach for increasing nitrogen fertilizer efficiency and improving the sustainability of agricultural systems.

Keywords: Clinoptilolite, grain yield, nitrogen, soil amendment

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۴ شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

تأثیر زئولیت و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های مبنایی خاک و عملکرد گندم در تناوب سیب‌زمینی - گندم

پرستو اصلانی[۱]، مسعود داوری[۲*]، محمدعلی محمودی[۳]، فرزاد حسین پناهی[۴] و ناصر خالق پناه[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، ایران

۲- هیت علمی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، ایران

۳- هیت علمی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، ایران

۴- هیت علمی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، ایران

۵- هیت علمی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه کردستان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

کلمات کلیدی:

اصلاح کننده خاک،

کلینوپتیلولایت،

عملکرد دانه،

نیتروژن

* عهده‌دار مکاتبات

Email: m.davari@uok.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر زئولیت کلینوپتیلولایت بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک و همچنین شاخص‌های رشد و عملکرد گندم انجام شد. بدین منظور، آزمایشی مزرعه‌ای در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و ٦٠ کرت در سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. تیمارهای موردمطالعه در این پژوهش شامل زئولیت طبیعی در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار و مقادیر نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. شایان ذکر است که زئولیت مورداستفاده در سال ۱۳۹۷ با لایه سطحی خاک مخلوط و این آزمایش در سال ۱۳۹۸ بدون اضافه شدن زئولیت تکرار شد. مزرعه در سال اول تحت کشت سیب‌زمینی و در سال دوم تحت کشت گندم قرار گرفت. نتایج حاصل از سال دوم نشان داد که تأثیر کاربرد زئولیت، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر چگالی ظاهری (ρ_b) و حقیقی (ρ_p) کاهشی و بر تخلخل کل (f)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، هدایت الکتریکی (EC) و pH خاک افزایشی بودند. نتایج همچنین نشان داد که مقدار پروتئین دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به‌ترتیب با میانگین افزایشی در حدود ۳۷، ٦، ۳۰، ۱۵، ٤۳، ۲٦ و ۷ درصد در مقایسه با شاهد، تحت‌تأثیر کاربرد زئولیت، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند، ولیکن تأثیر آن‌ها بر غلظت کلروفیل معنی‌دار نبود. صفات زراعی بهبود یافته و افزایش پتانسیل تولید دانه به‌دلیل استفاده از زئولیت را می‌توان به بهبود شاخص‌های کیفیت خاک و همچنین افزایش جذب نیتروژن ارتباط داد. در مجموع نتایج نشان داد که کاربرد همزمان زئولیت و نیتروژن در خاک می‌تواند یک رویکرد سودمند برای افزایش کارایی کودهای نیتروژنه و همچنین بهبود پایداری در سیستم‌های کشاورزی باشد.

مقدمه

تأمین بیشتر نیازهای غذایی جمعیت روبه‌رشد جهان از خاک و اراضی زراعی است. این موضوع لزوم حفظ و نگهداری این منبع حیاتی را بیش از گذشته نشان می‌دهد (۹). امروزه با افزایش جمعیت و بیش‌تر شدن نیاز انسان به غذا، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی تنها از طریق افزایش سطح زیرکشت امکان‌پذیر نیست. لذا تمرکز بر افزایش عملکرد در واحد سطح بایستی یکی از اصلی‌ترین راه‌کارهای پیش‌رو باشد. در سالیان اخیر بر استفاده از بهسازهای آلی و معدنی به‌منظور ارتقاء کیفیت خاک تأکید شده است (۵۰). یکی از رایج‌ترین این بهسازهای معدنی که برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین حاصل‌خیزی خاک استفاده می‌شود، زئولیت است (۱۶ و ۵۷). 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 سیلیس باعث ایجاد بار منفی در ساختار این کانی می‌شود. بار منفی زئولیت بایستی به‌وسیله کاتیون‌های قابل‌تبادل خنثی شود که این موضوع خود باعث ایجاد ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)[1] بالایی در این کانی می‌شود (۲۳). زئولیت به‌دلیل داشتن CEC بالا می‌تواند در افزایش راندمان مصرف کودهای شیمیایی همچون ازت و پتاسیم مؤثر باشد (۲). تخلخل زیاد و ساختار کریستالی زئولیت سبب افزایش ظرفیت نگه‌داشت آب (WHC)[2] در خاک می‌شود که این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند بسیار با اهمیت باشد. نقش کارای زئولیت در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق بهبود ساختمان خاک و به‌دنبال آن افزایش تهویه خاک، افزایش نفوذ آب به خاک و آب قابل دسترس گیاه، تسریع در مرطوب شدن دوباره خاک و پراکنش جانبی آب آبیاری در ناحیه ریشه، کاهش روان‌آب سطحی و همچنین کاهش آبشویی عناصر غذایی از خاک، توسط محققین مختلف گزارش شده است (۱، ۴، ۸، ۱۲، ۱۷، ۳۴ و ۳۸). از دیگر نقش‌های مفید و کارآمد زئولیت می‌توان به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نیتروژن و فسفر در منابع آبی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. CEC بالا و تخلخل زیاد زئولیت سبب می‌گردد که این کانی، گازهای گلخانه‌ای همچون متان و دی‌اکسید کربن را به‌دام بیندازد (۵۵). زئولیت همچنین به‌دلیل داشتن تخلخل بالا و سطح ویژه زیاد می‌تواند محیط پایداری را برای رشد و حفظ باکتری‌های جذب سطحی شده مهیا کند (۵۶). افزایش عملکرد در نتیجه استفاده از زئولیت به‌همراه کودهای آلی یا شیمیایی برای محصولات زراعی متعددی گزارش شده است که دلیل آن را می‌توان به بهبود ساختمان خاک، افزایش WHC خاک و همچنین افزایش دسترسی به عناصر غذایی نسبت داد (۱، ۱۵، ۲۴، ۴۰ و ۴۴). به‌عنوان مثال، پولت و همکاران[3] (۴۴) گزارش کردند که کلینوپتیلولایت معدنی (از خانواده هیولاندیت بوده و یا حاصل تغییر ساختمانی کانی‌های زئولیتی است و در سنگ‌های بازالت، آندزیت و ریولیت یافت می‌شود) کارایی کودهای مصرفی را افزایش داده، سبب رشد رویشی بهتر محصولات زراعی و به‌تبع آن افزایش عملکرد در آن‌ها می‌گردد. آغاعلیخانی و همکاران[4] (۱) نیز بیان کردند که افزودن زئولیت به کانولای کشت شده در خاک لوم شنی، که نیتروژن را بصورت کود اوره دریافت کرده است، می‌تواند سبب افزایش عملکرد دانه در آن شود.

گندم، به‌عنوان یک محصول استراتژیک، یکی از مهمترین تولیدات زراعی جهان است. این محصول در

1- Cation exchange capacity
2- Water holding capacity
3- Polat *et al*.
4- Aghaalikhani *et al.*

میان غلات، از نظر سطح زیرکشت (حدود ۳۰ درصد) و تولیدات جهانی مقام اول را دارد (۳). نظر به اهمیت نیتروژن در رشد گندم و تأثیر به‌سزای آن بر کمیت و کیفیت گندم، مسأله افزایش راندمان مصرف آن یکی از موضوعات مهم در کشاورزی نوین است. این در حالی است که کارایی جذب نیتروژن می‌تواند به طور معنی-داری تحت‌تأثیر نوع منبع تأمین نیتروژن قرار گیرد (۱۳). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، برای تأمین نیتروژن موردنیاز گیاهان غالباً از اوره، نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم استفاده می‌شود. به‌علت حلالیت بالای این کودها در آب، امکان جابجایی نیتروژن در خاک و به-تبع آن آلوده کردن آب‌های زیرزمینی وجود دارد، که افزون‌بر هدرروی کود، از نظر زیست‌محیطی نیز پیامدهای نامطلوبی را به‌دنبال خواهد داشت. زئولیت به-دلیل میل ترکیبی بالا با آمونیوم قادر به جذب انتخابی آن از کودهای شیمیایی آمونیوم‌دار، کودهای دامی و یا کمپوست‌ها می‌باشد. این موضوع سبب می‌گردد زئولیت به‌عنوان یک عامل کندرها برای آمونیوم عمل کرده و ضمن کاهش نیتریفیکاسیون و به‌تبع آن کاهش هدررفت نیتروژن، مقدار بیشتری از نیتروژن را به‌مدت طولانی‌تری در ناحیه ریشه نگه دارد (۱۰ و ۴۴) و خطرات زیست-محیطی حضور نیتروژن در طبیعت را کاهش دهد. هوانگ و پترویچ[1] (۲۲) گزارش کردند که آمیختن ۱۰ درصد (وزنی) کلینوپتیلولایت با سولفات آمونیم، آبشویی آمونیم را به‌میزان ۹۹ درصد کاهش می‌دهد. در پژوهش دیگری، ۵ درصد وزنی دو نوع زئولیت (اریونیت و کلینوپتیلولایت) به خاکی شن‌لومی که ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات آمونیوم دریافت کرده بود، اضافه گردید. بعد از آبیاری این خاک، آبشویی آمونیم در خاک اصلاح شده با اریونیت و کلینوپتیلولایت به‌ترتیب ۹۳ و ۸۳ درصد کاهش یافت (۳۳). این موضوع می‌تواند به طور قابل‌توجهی باعث افزایش راندمان مصرف نیتروژن و کاهش اثرات سوء آن بر طبیعت شود. غلام‌حسینی و همکاران[2] (۱۸) گزارش کردند که زئولیت به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد شیمیایی و ساختاری آن، با جلوگیری از آبشویی نیتروژن، باعث افزایش محتوای نیتروژن خاک، جذب بیشتر آن توسط گیاه و به‌تبع آن افزایش کارایی نهاده‌ها می‌شود.

با توجه به ویژگی‌های منحصر به‌فرد زئولیت‌ها، ارزانی و فراوانی معادن آن در ایران و باتوجه به اهمیت بحث سلامت خاک و لزوم حفظ آن در راستای تحقق کشاورزی پایدار و حفاظت از زیست‌بوم و همچنین نظر به استقبال گسترده جهانی از زئولیت (که اصطلاحاً به آن کانی جادویی گفته می‌شود)، ضرورت مطالعات بیشتر جهت بررسی تأثیرمصرف زئولیت بر ویژگی‌های مبنایی خاک و شاخص‌های عملکرد گندم در استان کردستان نیز آشکار می‌شود. اگرچه پژوهش‌های متعددی راجع به تأثیر زئولیت بر بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش عملکرد محصولات زراعی مختلف وجود دارد، لیکن در رابطه با اثرات باقیمانده آن پژوهش‌های اندکی صورت-گرفته است و سوالی که در این زمینه وجود دارد این است که آیا تأثیر زئولیت کوتاه‌مدت بوده و یا اینکه با گذشت زمان (دو یا سه سال بعد از استفاده در خاک) همچنان می‌تواند بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه اثرات معنی‌داری داشته‌باشد. بنابراین، در این پژوهش تلاش شد ضمن بررسی اثرات باقیمانده زئولیت بر برخی از ویژگی‌های خاکی و کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد گندم نیز در شرایط مزرعه بعد از گذشت دو سال از مصرف آن ارزیابی شود.

مواد و روش

محل انجام این پژوهش مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در شهرستان دهگلان (۳۵ کیلومتری شهرستان سنندج) بود. این پژوهش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مدنظر عبارت بودند از

1- Huang and Petrovic

2- Gholamhoseini *et al*.

مقادیر زئولیت در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار (در ادامه به‌ترتیب با حروف Z1، Z2، Z3 و Z4 مشخص می‌شود) به عنوان کرت‌های اصلی (در سال قبل اعمال شده و زمین در آن سال تحت کشت سیب‌زمینی بوده است) و مقادیر نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (در ادامه به‌ترتیب با حروف N1، N2، N3، N4 و N5 مشخص می‌شود) به عنوان کرت‌های فرعی. این سطوح از نیتروژن موردنیاز با استفاده از کود اوره تأمین شد.

قبل از اجرای پژوهش و به‌منظور ارزیابی وضعیت خاک، نمونه‌هایی مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. شایان ذکر است که به‌منظور بررسی تأثیر زئولیت بر ویژگی‌های مبنایی خاک نیز نمونه‌هایی در سال دوم، در پایان فصل برداشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در کرت‌های موردمطالعه جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های مبنایی خاک به آزمایشگاه منتقل شدند. در این پژوهش چگالی ظاهری و حقیقی خاک به‌ترتیب با روش‌های استوانه نمونه برداری و پیکنومتر و توزیع اندازه ذرات خاک با روش‌های هیدرومتری و الک تعیین شد (۱۱). برای اندازه‌گیری ضریب آبگذری اشباع خاک نیز از پرمومتر گوالف[1] استفاده شد (۴۹). نیتروژن کل خاک با روش کجلدال، پتاسیم قابل‌جذب به روش استخراج با استات آمونیوم یک مولار با دستگاه فلیم‌فتومتر (Model BWB-1, Technology, UK Ltd.)، فسفر قابل‌جذب به روش استخراج با بی‌کربنات سدیم نیم مولار با دستگاه اسپکتروفتومتر (Cary 50, Varian Australia Pty Ltd. Mulgrave, Victoria)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش باور و با بهره‌گیری از استات آمونیوم یک نرمال، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره اشباع به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های EC متر و pH متر (هر دو (Metrohm Pty Ltd., Herisau, Switzerland اندازه‌گیری شدند (۵۳). در جدول ۱ برخی ویژگی‌های مبنایی خاک موردمطالعه و زئولیت مورداستفاده ارائه شده است.

همان‌گونه که در قبل بیان شد همه زئولیت‌ها در سال قبل (بهار ۱۳۹۶) زمانی که رطوبت خاک در حد گاورو شدن بود در سطوح مختلف و به‌صورت دستی بر روی خاک پخش شده و قبل از کاشت بوسیله دیسک و روتیواتور تا عمق حدود ۲۵ سانتیمتری با خاک مخلوط گردید. کشت در مهرماه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ توسط بذرکار غلات در کرت‌هایی با ابعاد ۸/۲۵ × ۴/۵ متر انجام شده و از رقم پیشگام گندم با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع استفاده شد. با توجه به این که مقدار فسفر قابل‌جذب در خاک ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده (جدول ۱)، لذا مقدار کود فسفاته مصرفی معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که برای تأمین آن از سوپرفسفات تریپل استفاده شد. لازم به ذکر است که مقدار پتاسیم قابل‌استفاده در خاک موردمطالعه نیز معادل ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۱). این بدین معنی است که چنین خاکی برای بیشینه عملکرد نیازی به استفاده از کودهای پتاسیمی ندارد. یک دوم کود نیتروژنه هر تیمار و تمام کود فسفره به‌صورت پایه و یک دوم دیگر کود نیتروژنه به‌صورت سرک در مرحله پنجه‌زنی اعمال شد. از آنجایی‌که گندم نسبت به بعضی از بیماری‌ها حساس بوده، لذا قبل از کشت، از قارچ‌کش دیفنوکونازول[2] (دیویدند) به‌مقدار یک در هزار برای مبارزه با آن‌ها استفاده شد.

با کامل شدن دوره رشد گندم، برداشت از هر کرت با حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت و حذف دو حاشیه، از پلات‌هایی با ابعاد ۱×۱ متر مربع انجام شد. سپس در نمونه گندم‌های برداشتی برخی از صفات گیاهی شامل اجزای عملکرد (تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه)، اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص

1- Guelph permeameter

2- Difenoconazole

برداشت نیز به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شدند.

عملکرد بیولوژیک = وزن کاه و کلش + عملکرد اقتصادی (۱)

عملکرد اقتصادی = وزن دانه در متر مربع × $\frac{۱}{۲}$ (۲)

شاخص برداشت = $\frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{عملکرد بیولوژیک}}$ (۳)

افزون بر این، ویژگی‌هایی همچون پروتئین دانه با روش کجلدال و کلروفیل‌های a، b و کل نیز با روش لیچنتر و بوشمان (۳۰) اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 8.02 استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با روش GLM (مدل خطی تعمیم یافته) و مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نیز به روش دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر زئولیت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این نتایج، چگالی ظاهری و حقیقی خاک و همچنین تخلخل کل خاک به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمار زئولیت و نیتروژن و اثر متقابل زئولیت و نیتروژن قرار گرفت. بیشینه مقدار چگالی ظاهری و حقیقی در تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت) و کمترین مقدار آن نیز در تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت مشاهده گردید. این در حالی است که بیشینه مقدار تخلخل کل در تیمارهای ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود (شکل ۱ الف، ب و ج). کاهش چگالی ظاهری خاک ممکن است به‌دلیل ساختار بلوری متخلخل زئولیت باشد که سبب کاهش جرم توده خاک می‌شود (۴۷). لازم به ذکر است که چگالی حقیقی زئولیت نسبت به خاک کمتر می‌باشد (۲۲). در پژوهشی مشابه، لیتاُر و همکاران (۳۲) کاهش چگالی ظاهری خاک را در تیمار ۲٪ زئولیت مشاهده کردند؛ این محققین گزارش کردند این کاهش، منجر به افزایش تخلخل کل خاک خواهد شد. تخلخل بالای زئولیت، ساختمان خاک را بهبود داده و تهویه خاک را بدون مسدود کردن منافذ افزایش می‌دهد (۸).

جدول(۱) میانگین برخی از ویژگی‌های مبنایی خاک مورد مطالعه (پیش از تیمار با زئولیت و نیتروژن) و زئولیت

Table (1) Mean of some basic soil properties (before treatment with zeolite and nitrogen) and zeolite

	هدایت الکتریکی (EC)	pH	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	فسفر قابل جذب (P_{ava})	پتاسیم قابل جذب (K^+)	نیتروژن (N)	ماده آلی خاک (SOM)	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)
	$dS.m^{-1}$		$(cmol_c\ kg^{-1})$	(ppm)			(%)			
خاک	0.27	7.1	14.22	12	300	0. 12	0.5	33.8	22	44.2
				چگالی ظاهری $(g\ cm^{-3})$			چگالی حقیقی $(g\ cm^{-3})$			
زئولیت	0.08 (1:5)	8.10 (1:5)	160	1.1			2.15			

جدول(۲) نتایج تجزیه واریانس اثرات زئولیت و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 2 - The ANOVA results for the effects of zeolite and nitrogen on some soil physical properties

منابع تغییرات Change resources	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares: چگالی ظاهری Bulk Density	چگالی حقیقی Particle density	تخلخل کل Total porosity	هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity
بلوک (Block)	2	0.003*	0.0008^{ns}	4.84^{ns}	1.125**
زئولیت (Zeolite)	3	0.21*	0.324**	614**	141.99**
خطا (Error)	6	0.001	0.0004	3.4	0.06
کرت اصلی Main plot	11	0.214	325	69.5	134.175
نیتروژن (Nitrogen)	4	0.003*	0.0561**	26.8**	5.156**
نیتروژن ×زئولیت Zeolite× Nitrogen	12	0.007**	0.0256**	29.2**	1.094**
خطا (Error)	32	0.0007	0.0005	1.36	0.085
کرت فرعی Sub plot	48	0.0107	0.0822	57.36	6.335
کل (Total)	59	0.2247	0.4072	126.96	149.51
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	2.32	1.063	2.37	5.44

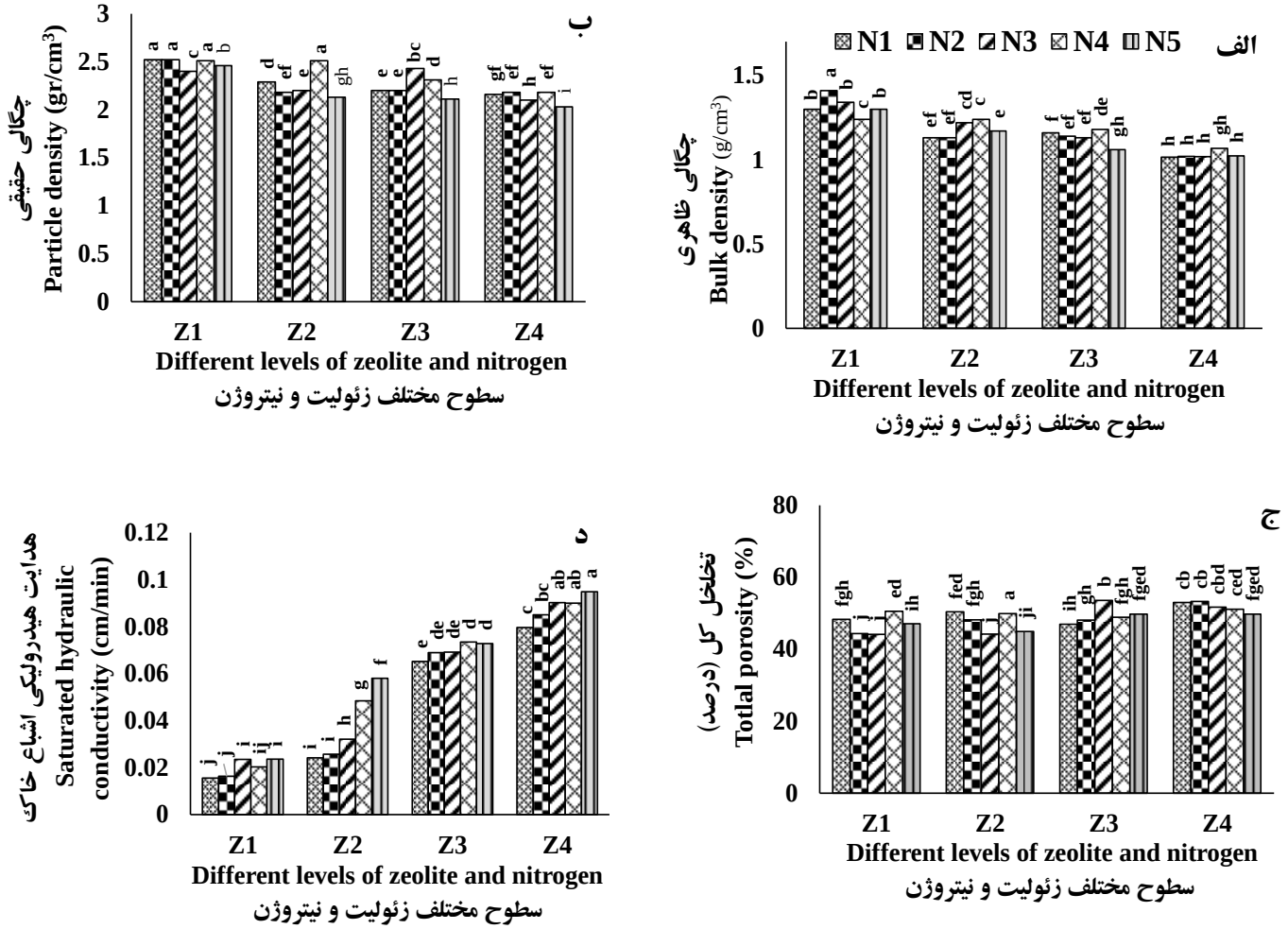
**، * و ns به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

*, **and ns indicate a significant difference in the probability level of 1%, 5% and no significant difference, respectively

در پژوهش اُک و همکاران[1] (۴۱)، تغییر ویژگی‌های فیزیکی بستر کشت به‌دنبال افزودن زئولیت به محیط کشت گیاهان چمنی نیز گزارش شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که حضور زئولیت می‌تواند باعث کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش درصد تخلخل و همچنین هدایت هیدرولیکی محیط کشت گردد. خدارحمی و همکاران[2] (۲۷) تأثیر بیوچار اصلاح شده و زئولیت بر برخی از ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاکی با کلاس بافتی لومی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر سطوح ۲ و ۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار در چگالی ظاهری و حقیقی خاک، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، pH و هدایت الکتریکی خاک شد.

نتایج جدول ۲ بیان‌گر آن است که تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن و همچنین اثر متقابل زئولیت و نیتروژن بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۱ د بالاترین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با میانگین ۰/۰۹۴۸ سانتی‌متر بر دقیقه مربوط به تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و کمترین مقدار آن با میانگین ۰/۰۱۵۵ سانتی‌متر بر دقیقه مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت و نیتروژن) بود. زئولیت‌ها به دلیل وجود کانال‌هایی در ساختمان خود می‌توانند هدایت هیدرولیکی را تغییر دهند. با این حال، باید توجه داشت که اثرات زئولیت در خاک‌های با بافت‌های مختلف، می‌تواند متفاوت باشد.

1- Ok *et al.*
2- Khodarahmi *et al.*



شکل(۱) مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر چگالی ظاهری خاک (الف)، چگالی حقیقی خاک (ب)، تخلخل کل خاک (ج) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (د). Z1، Z2، Z3 و Z4 به‌ترتیب مقادیر زئولیت در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار و N1، N2، N3 و N4 به ترتیب مقادیر نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری در $P < ۰/۰۵$ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Figure (1) Mean comparison of the effect of different levels of zeolite and nitrogen on soil bulk density (a), particle density (b), total porosity of soil (c), and saturated hydraulic conductivity (d). Z1, Z2, Z3 and Z4 are zeolite application rates of 0, 5, 10, and 15 ton/ha, respectively. N1, N2, N3, N4, N5 are nitrogen application rates of 0, 50, 100, 150 and 200 kg/ha, respectively. Mean values followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ by the Duncan's test.

زئولیت در خاک‌های با بافت سنگین، توانایی افزایش هدایت هیدرولیکی را داشته، در حالی که در خاک‌های با بافت سبک، می‌توانند هدایت هیدرولیکی را کاهش دهند (۳۸ و ۵۴). ذرات بزرگ‌تر منافذ بزرگتری ایجاد می‌کنند که در آنها انتقال آب می‌تواند سریعتر انجام شود، از این‌رو برای خاک‌های شنی و لومی، کاربرد زئولیت می تواند به‌طور مؤثری میانگین اندازه ذرات را کاهش دهد و در نتیجه هدایت هیدرولیکی پایین‌تری نسبت به خاک‌های شاهد داشته باشد. در مقابل، افزودن زئولیت به خاک‌های رسی ممکن است میانگین اندازه ذرات را افزایش دهد، بنابراین منجر به هدایت هیدرولیکی بالاتری می‌شود (۳۱).

همان‌گونه که در قبل بیان شد استفاده از کود نیتروژنه در خاک بر روی ویژگی‌های فیزیکی موردمطالعه تأثیر معنی‌داری داشته است. این تأثیر معنی‌دار نیتروژن بر

ویژگی‌های فیزیکی خاک شاید به‌سهولت قابل‌توجیه نباشد، اما ممکن است بتوان آن را با جذب بیشتر آب در لایه‌های مختلف خاک و افزایش تبخیر و تعرق در تیمارهایی که کود نیتروژنه دریافت کرده‌اند، توجیه کرد. به‌واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که جریان بیشتر آب در خاک به سمت ریشه و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه شاید بتواند تا حدودی ویژگی‌های فیزیکی خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد. در توجیه این موضوع همچنین می‌توان این‌گونه بیان کرد که کودهای نیتروژنه با افزایش تولید محصولات زراعی و به‌تبع آن بازگشت مقادیر بیشتری از بقایای آلی به خاک، می‌توانند به‌طور غیرمستقیم بر مقدار ماده آلی خاک تأثیر مثبتی داشته باشند. پر واضح است که ورود بیشتر ماده آلی به خاک، فعالیت‌های میکربی و ریزجانداران خاک را تحریک کرده که نتیجه آن می‌تواند بهبود شرایط فیزیکی خاک باشد (۴۷، ۴۸ و ۵۴).

انصاری مهابادی و همکاران[1] (۵) در پژوهشی تحت عنوان اثر سطوح مختلف زئولیت‌های طبیعی کلینوپتیلولایت ایران بر تثبیت کادمیوم (Cd) در خاک‌هایی باکلاس بافتی مختلف، گزارش کردند که با افزایش سطوح مختلف زئولیت، میانگین اندازه ذرات و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های سیلتی، لوم‌شنی و شنی به‌طور معنی‌داری کاهش و در مقابل هدایت هیدرولیکی خاک رسی افزایش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند، چه در خاک‌های ریز و چه درشت‌بافت، استفاده از زئولیت به‌عنوان یک ماده بهساز، می‌تواند بسیار مؤثر باشد. رزمی و سپاسخواه[2] (۴۸) گزارش کردند که زئولیت اضافه شده به مقدار ۸ گرم در کیلوگرم سبب افزایش هدایت هیدرولیکی خاک با بافت رسی شد در حالی که سایر مقادیر زئولیت افزوده شده (۴ و ۱۲ کیلوگرم) بر هدایت هیدرولیکی اشباع اثر معنی‌داری نداشتند.

تأثیر زئولیت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که این نتایج نشان می‌دهد هدایت الکتریکی (EC)، pH و ظرفیت تبادل کاتونی خاک (CEC) به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار زئولیت، تیمار نیتروژن و همچنین اثرات متقابل زئولیت و نیتروژن قرار گرفته‌است. بیشترین مقدار pH خاک مربوط به تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن (با میانگین ۷/۸۲) بود. این در حالی است که کمترین pH نیز در سطح ۵ تن در هکتار زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (با میانگینی معادل ۷/۰۱) مشاهده شد (شکل ۲ الف). این یافته با برخی از پژوهش‌ها که گزارش کرده‌اند افزودن زئولیت معمولاً باعث افزایش pH خاک می شود، مطابقت دارد (۴۰). زئولیت‌ها به‌عنوان یک بهساز کمی قلیایی شناخته شده‌اند و این یکی از دلایلی است که وقتی از آنها با کود استفاده می‌شود به بافر کردن pH خاک کمک می‌کنند (۳۶). نرگسی علیپور و همکاران[3] (۳۹) در بررسی اثر متقابل کاربرد سطوح مختلف زئولیت و کمپوست بر برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد وتیور گزارش کردند که در مجموع سطوح مختلف زئولیت و کمپوست تفاوت معنی‌داری در pH خاک ایجاد کرده و تا حدودی می‌تواند سبب افزایش pH خاک شود. این محققین بیشینه مقدار pH خاک را در تیمار یک درصد وزنی زئولیت و ۲۰ درصد حجمی کمپوست و کمینه مقدار آن را نیز در تیمار ۲ درصد وزنی زئولیت و عدم حضور کمپوست گزارش کردند.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای بیشترین مقدار EC و CEC می‌باشد. کمترین مقدار این ویژگی‌ها نیز در تیمار صفر تن در هکتار زئولیت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده شد (شکل ۲ ب و ج). زئولیت‌های طبیعی دارای بار منفی بوده که با کاتیون‌های قابل‌تبادل دارای بار مثبت خنثی می‌گردند. ساختار بسیار باز زئولیت و شبکه حفره مانند آن باعث ایجاد سطح ویژه بالا، برای نگهداری و تبادل عناصر غذایی می‌شود. از طرفی زئولیت‌ها به‌طور طبیعی دارای CEC بالا در محدوده‌ای از

1- Ansari Mahabadi *et al*.
2- Razmi and Sepaskhah
3- Nargesi Alipour *et al*.

جدول(۳) نتایج تجزیه واریانس اثرات زئولیت و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

Table (3) The ANOVA results for the effect of zeolite and nitrogen on some soil chemical properties

منابع تغییرات Change resources	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	CEC $cmol_c/kg$	نیتروژن کل Total N (%)
بلوک (Block)	2	0.0005^{ns}	0.003^{**}	0.0515	0.00002^{ns}
زئولیت (Zeolite)	3	0.692^{**}	0.002^{**}	76.098^{**}	0.001^{**}
خطا (Error)	6	0.0025	0.0001	0.0313	0.0001
کرت اصلی Main plot	11	0.695	0.005	76.1808	0.00112
نیتروژن (Nitrogen)	4	0.046^{**}	0.006^{**}	6.949^{**}	0.004^{**}
نیتروژن ×زئولیت Zeolite× Nitrogen	12	$0.0.302^{**}$	0.002^{**}	5.326^{**}	0.0001^{ns}
خطا (Error)	32	0.002	0.0002	0.0133	0.00009
کرت فرعی Sub plot	48	0.0782	0.0082	12.2883	0.00419
کل(Total)	59	0.773	0.0132	88.4691	0.00531
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	0.64	5.8	0.81	6.7

**، * و ns به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

* ,**and ns indicate a significant difference in the probability level of 1%, 5% and no significant difference, respectively.

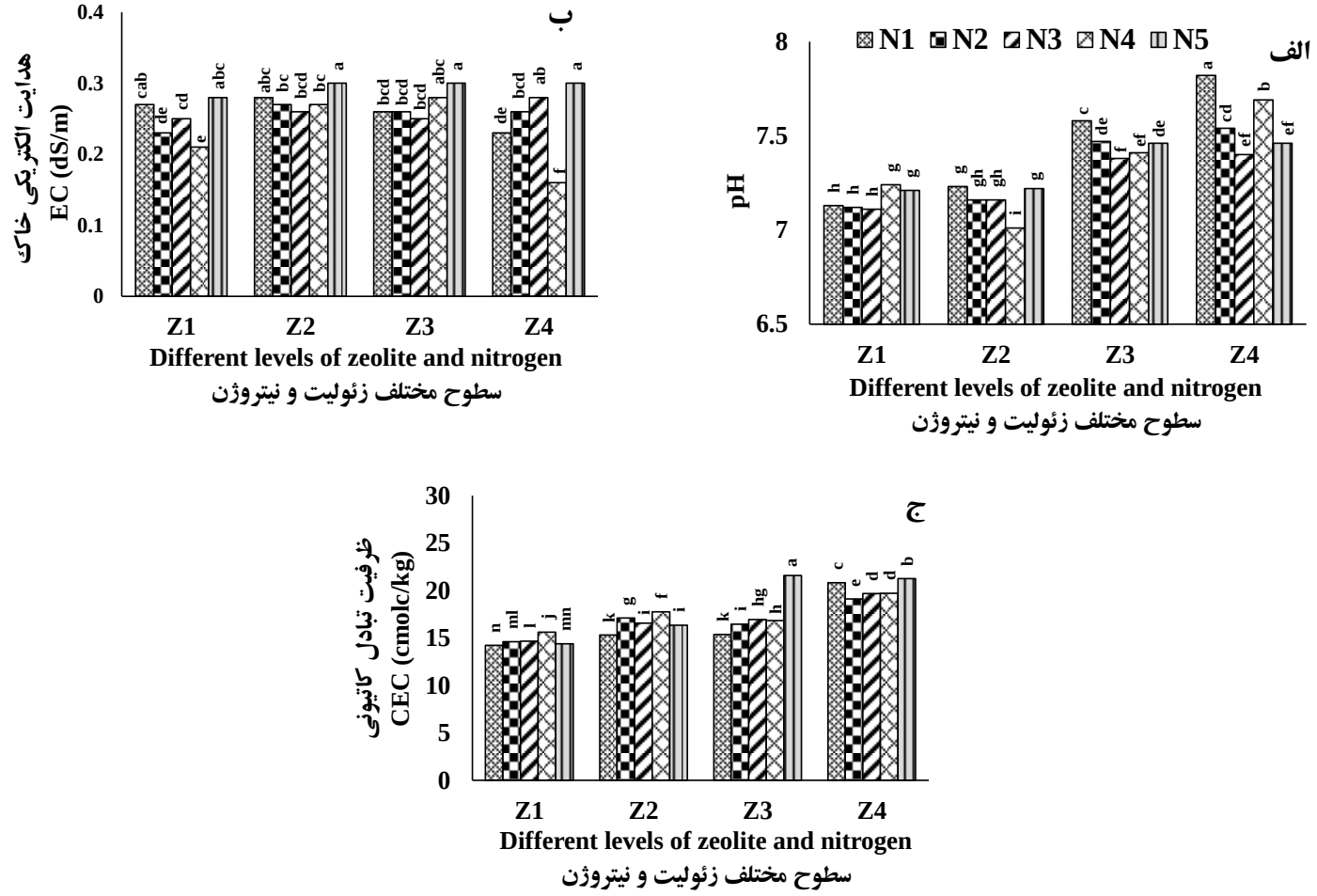
۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم می‌باشند (۴۷). این بدین معنی است که نمک‌های مختلف می‌توانند از ساختار زئولیت جذب یا دفع شوند. دفع نمک‌ها از ساختار زئولیت می‌تواند عامل افزایش EC در خاک باشد (۳۹).

در واقع ظرفیت تبادل کاتیونی بالای زئولیت‌ها می‌تواند بر مقدار EC خاک تأثیر داشته باشد، زیرا زئولیت ها می‌توانند کاتیون‌ها را به آبی که برای اندازه‌گیری EC به‌خاک اضافه می‌شود، وارد کنند (۴۷). نتایج مشابهی توسط رامش و همکاران (۴۶) و لین و همکاران[1] (۳۱) مبنی بر افزایش EC به‌سبب اضافه کردن زئولیت به خاک گزارش گردیده‌است. در مقابل اُزبهسه و همکاران[2] (۴۲) در بررسی سطوح مختلف زئولیت و آبیاری بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی رقم آگریا گزارش کردند که اثر متقابل سطوح زئولیت و آبیاری تأثیر معنی‌داری بر روی هدایت الکتریکی و pH خاک نداشت. این در حالی است که گاراو و همکاران[3] (۱۶) و بصری و همکاران[4] (۷) نیز بیان کردند که افزودن زئولیت می‌تواند باعث افزایش pH، سدیم تبادلی و EC خاک شود. آن‌ها بخشی از این افزایش را به رها سازی یون سدیم توسط کانی زئولیت نسبت دادند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار زئولیت و تیمار نیتروژن بر نیتروژن کل خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که اثر متقابل زئولیت و نیتروژن بر غلظت نیتروژن کل خاک معنی‌دار نشد (جدول ۳). با توجه به این نتایج، با افزایش زئولیت مقدار نیتروژن کل خاک افزایش یافت به‌طوری

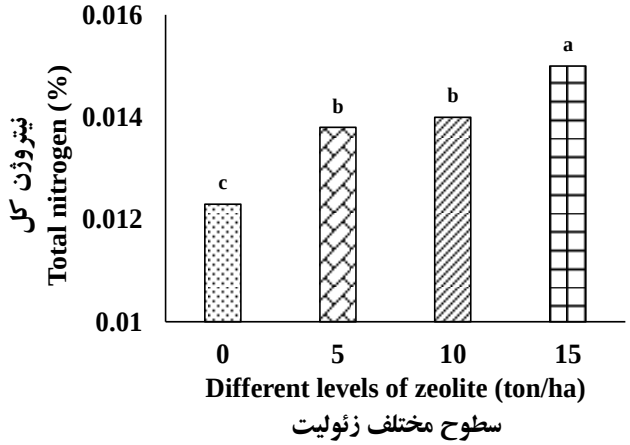
1- Lin *et al.*
2- Ozbahce *et al.*
3- Garau *et al.*
4- Basari *et al.*

که بیش‌ترین مقدار نیتروژن با مقدار ۰/۱۵ درصد به‌دنبال کاربرد بالاترین سطح زئولیت مشاهده شد. کمترین میزان نیتروژن نیز با ۰/۱۳ درصد در سطح صفر تن در هکتار زئولیت به‌دست آمد (شکل ۳). با توجه به نتایج، بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک از کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بدست آمد. سطح ویژه و CEC بالای زئولیت سبب می‌گردد که CEC خاک افزایش یابد که خود سبب می‌گردد توانایی خاک برای به‌دام انداختن و نگهداری عناصر غذایی همچون آمونیوم بیشتر شود.



شکل(۲) مقایسه میانگین اثرات زئولیت و نیتروژن بر pH (الف)، EC (ب) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ج). Z1، Z2، Z3 و Z4 به‌ترتیب مقادیر زئولیت در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار و N1، N2، N3 و N4 به ترتیب مقادیر نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری در P < ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Figure (2) Mean comparison of the effects of zeolite and nitrogen on pH (a), EC (b), and CEC (c). Z1, Z2, Z3 and Z4 are zeolite application rates of 0, 5, 10, and 15 ton/ha, respectively. N1, N2, N3, N4, N5 are nitrogen application rates of 0, 50, 100, 150 and 200 kg/ha, respectively. Mean values followed by different letters are significantly different at P < 0.05 by the Duncan's test.



شکل(۳) تأثیر زئولیت بر نیتروژن کل خاک. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری در P < ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Figure (3) The effect of zeolite on soil total nitrogen. Mean values followed by different letters are significantly different at P < 0.05 by the Duncan's test.

زئولیت همچنین می‌تواند به‌عنوان یک عامل کندرها برای آمونیوم و اوره عمل کند که این امر می‌تواند سبب کاهش نیتریفیکاسیون و به‌تبع آن کاهش هدررفت نیتروژن از خاک شود (۳۸). غلام‌حسینی و همکاران (۱۸) گزارش کردند که استفاده از تیمارهای زئولیت به‌مقدار ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد وزنی در ترکیب با کود آلی کمپوست شده و اوره در مقایسه با خود اوره به تنهایی، آبشویی نیتروژن را به‌مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. افزودن زئولیت با کود آلی کمپوست شده آبشویی فسفر را هم کاهش داد، لیکن نرخ این کاهش به اندازه آبشویی نیتروژن نبود. این محققین در نهایت نتیجه‌گیری کردند که اصلاح خاک با کود آلی و زئولیت می‌تواند رویکردی سودمند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهبود پایداری سیستم‌های کشاورزی باشد. کریمی و همکاران[1] (۲۴)، لیتاأر و همکاران (۳۲)، رامش و همکاران[2] (۴۶) و سپاسخواه و برزگر[3] (۵۱) نیز در پژوهش خود بر کارایی زئولیت در افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه تأکید کرده‌اند.

تأثیر زئولیت بر برخی صفات گیاهی مورد-مطالعه

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۴ نشان داد که اثر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار نشد. این در حالی است که وزن هزار دانه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، پروتئین دانه، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمار زئولیت، تیمار نیتروژن و تیمارهای متقابل زئولیت و نیتروژن قرار گرفته‌است (جدول ۴). با توجه به نتایج (جدول ۴)، اگرچه شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمار زئولیت و تیمار نیتروژن قرار گرفت، لیکن اثرات متقابل زئولیت و نیتروژن بر این صفت معنی‌دار نشد.

کلروفیل

همان‌گونه که در قبل بیان شد اثر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن بر کلروفیل a، b و کل معنی‌دار نشد (جدول ۴). میرزاخانی و ملکی[4] (۳۶) نیز در ارزیابی اثر مصرف زئولیت بر صفات فیزیولوژیک گندم و عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی مشاهده کردند که اثر تنش

1- Karimi *et al*.
2- Ramesh *et al*.
3- Sepaskhah and Barzegar
4 Mirzakhani and Maleki

کم‌آبی و مصرف سطوح مختلف زئولیت بر میزان کلروفیل a غیر معنی‌دار بوده، لیکن اثرات متقابل آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. از آنجائی که کلروفیل ساختاری نیتروژنه دارد، این انتظار می‌رود که زئولیت با کاهش آبشویی نیتروژن و بهبود شرایط خاک، سبب افزایش مقدار کلروفیل شود،که خود می‌تواند منجربه رشد بهتر سیستم جذب نور و استقرار بهتر گیاهچه شود (۶). با وجود این‌که افزودن زئولیت در مطالعات دیگر تأثیر مثبتی بر روی مقدار کلروفیل داشته لیکن، غیر معنی‌دار بودن آن در پژوهش حاضر شاید به‌این دلیل باشد که با اضافه شدن زئولیت بخشی از نیتروژن به‌وسیله زئولیت جذب شده باشد.

وزن هزار دانه

در شکل ۴ الف، نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات زئولیت و نیتروژن بر وزن هزار دانه گندم ارائه شده است. با توجه به این شکل، بیش‌ترین وزن هزار دانه (۴۱/۲ گرم) مربوط به تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. همچنین کمترین مقدار آن (۳۵/۱ گرم) در تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت و نیتروژن) مشاهده شد. پولت و همکاران (۴۴)، گیل و همکاران (۲۰) و آغاعلیخانی و همکاران (۱) نتایج مشابهی را در مورد اثرات مثبت زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد محصول گزارش کرده‌اند. افزایش عملکرد دانه را می‌توان به‌دلیل کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک در حضور زئولیت نسبت داد که باعث بهبود وضعیت نیتروژن و در دسترس بودن آب برای رشد می‌شود (۱).

محراب و همکاران[1] (۳۵) نیز با بررسی تأثیر زئولیت خام و غنی شده با آمونیوم در جذب نیتروژن توسط گندم در خاک‌های با بافت‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که کاهش مقدار شستشوی نیتروژن در حضور زئولیت غنی شده با آمونیوم سبب در دسترس بودن بیشتر نیتروژن برای گیاهان و افزایش کارایی کودهای ازته و عملکرد گیاهان می شود.

نادری و همکاران[2] (۳۷) گزارش کردند که بالاترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار آبیاری براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف ۴ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف اسید سالسیلیک و کمترین مقدار آن متعلق به آبیاری براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، عدم مصرف زئولیت به‌همراه محلول پاشی اسید سالسیلیک بود. سیبی و همکاران[3] (۵۲) نیز بیان کردند که وزن هزار دانه تحت تأثیر آبیاری، مصرف سطوح مختلف زئولیت و همچنین مصرف اسید سالسیلیک قرار نگرفت.

پروتئین دانه

با توجه به شکل ۴ ب، تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین مقدار پروتئین (۱۵/۷۵ درصد) و تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت و نیتروژن) کمترین مقدار پروتئین دانه (۷ درصد) را به خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد که زئولیت با جلوگیری از هدررفت نیتروژن هم در توده‌ی کودی و هم در خاک توانسته مقادیر بیش‌تری از نیتروژن را در اختیار گیاه قرار داده و با افزایش راندمان مصرف نیتروژن، درصد پروتئین دانه را نیز افزایش دهد. کاووسی (۲۵) نشان داد که کاربرد ۱۶ تن در هکتار زئولیت، جذب نیتروژن دانه را در مقایسه با شاهد در یک خاک درشت بافت افزایش داد. با افزایش میزان نیتروژن و زئولیت به‌کاربرده شده، میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد. برخی از محققین هم بر رابطه مستقیم بین کاربرد نیتروژن و درصد پروتئین دانه تأکید کرده‌اند (۱ و ۲۸). در نتیجه، کاربرد زئولیت می‌تواند از طریق بهبود در دسترس بودن نیتروژن در مرحله پر شدن دانه، پروتئین آن را نیز افزایش دهد (۳).

1- Mehrab *et al*.

[2] Naderi *et al*.
[3] Sibi *et al*.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثرات نیتروژن و زئولیت بر برخی صفات مورد مطالعه در گندم

Table 4 - The ANOVA results for the effects of zeolite and nitrogen on some studied traits in wheat

منابع تغییرات Change resources	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares									
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	پروتئین دانه Grain protein	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	تعدادسنبله Number of spikes	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	عملکرد اقتصادی Economic yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Repetition	2	10.54^{ns}	133.01^{ns}	210.17^{ns}	1.1^{ns}	0.014^{ns}	55.5^{ns}	11.9^{ns}	1936.3^{ns}	14249.8^{ns}	0.2^{ns}
زئولیت Zeolite	3	14.39^{ns}	189.74^{ns}	116.39^{ns}	53.3^{**}	27.2^{**}	212775.9^{**}	109.6^{**}	76103.8^{**}	48848.5^{**}	877.1^{**}
خطا Error	6	0.93	184.72	187.61	0.11	0.039	27.2	3.7	585.4	2455.1	4.3
کرت اصلی Main plot	11	25.86	507.47	514.17	54.5	27.25	212858.6	125.2	78625.5	65553.4	881.6
نیتروژن Nitrogen	4	11.07^{ns}	323.97^{ns}	348.62^{ns}	18.4^{**}	2.48^{**}	449.1^{**}	28.8^{**}	11696.7^{**}	60336.6^{**}	58.5^{**}
زئولیت×نیتروژن Nitrogen× Zeolite	12	11.79^{ns}	239.93^{ns}	300.83^{ns}	4.6^{**}	1.415^{**}	2075.002^{**}	65.3^{**}	11101.7^{**}	79304.3^{**}	7.2^{ns}
خطا Error	32	10.4	163.69	186.18	0.52	0.052	13.5	1.3	408.1	2780.06	2.8
کرت فرعی Sub plot	48	33.26	729.59	835.6	23.5	3.9	2537.6	95.4	23206.5	167520.96	68.5
کل Total	59	59.12	1237.06	1349.8	78.02	31.1	215396.2	220.6	101832	233074/36	950.1
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	10.67	47.65	23.91	6.4	0.61	0.78	5.7	5.9	6.5	4.02

**، * و ns به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

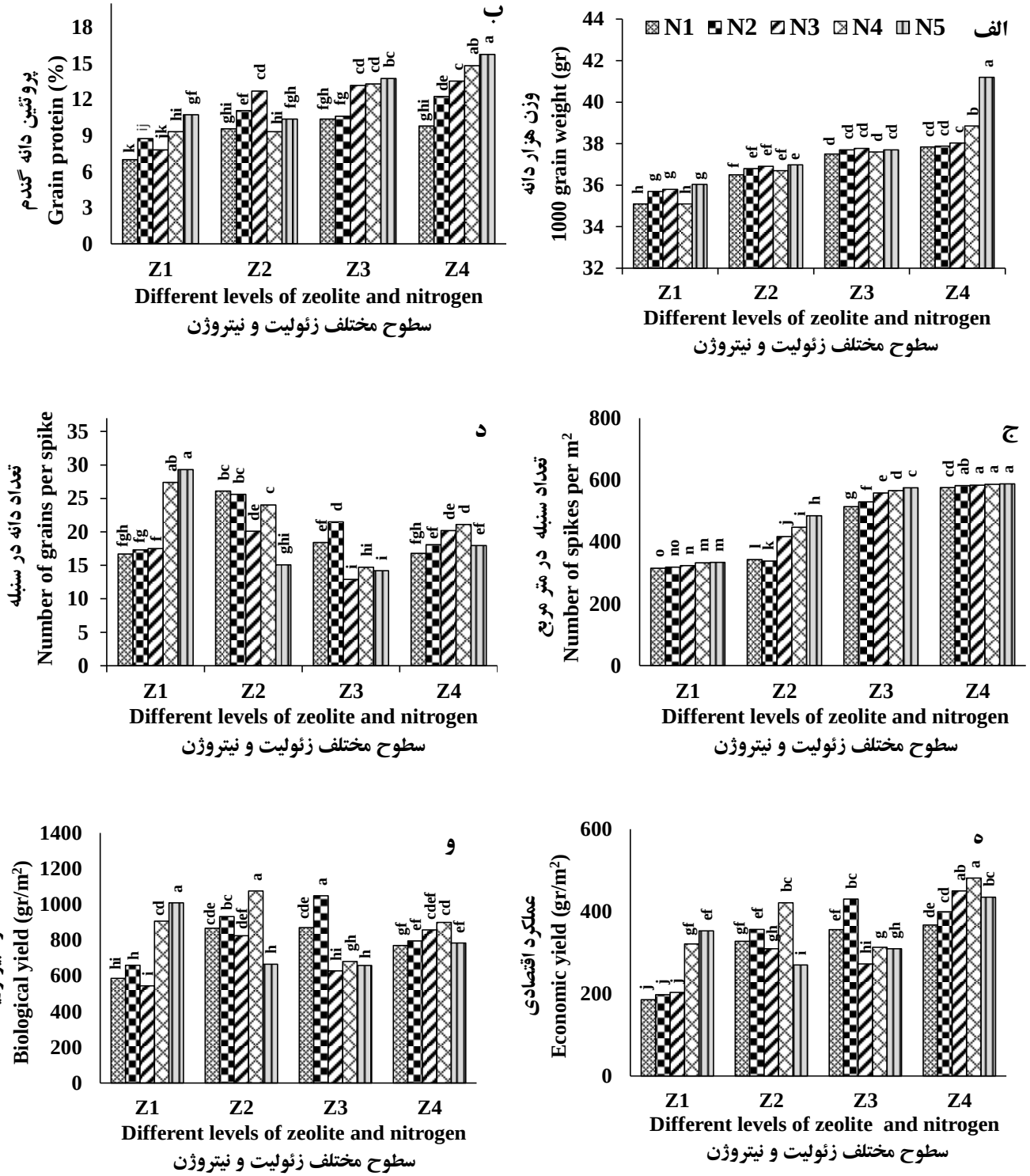
* ,**and ns indicate a significant difference in the probability level of 1%, 5% and no significant difference, respectively.

تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله

با توجه به شکل ۴ ج، بالاترین تعداد سنبله (معادل ۵۸۷/۵ عدد در متر مربع) در تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و کمترین مقدار آن (معادل ۳۱۴/۸ عدد در متر مربع) در تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت و نیتروژن) مشاهده گردید. تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به‌دلیل کاهش سنبله‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله موجب کاهش محصول گندم می‌گردد. همچنین تنش خشکی پس از گرده‌افشانی تا رسیدگی دانه (به ویژه اگر با دمای زیاد همراه باشد)، پیری را تسریع و دوره پر شدن دانه را کاهش داده، بنابراین وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد (۳۵). نتایج تحقیقات نشان داده که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع گیاه دارد. استفاده از زئولیت می‌تواند رطوبت خاک را برای مدت بیش‌تری حفظ و در اختیار گیاه قرار دهد، بنابراین کاربرد زئولیت می‌تواند اثرات سوء تنش خشکی در گیاه زراعی را تعدیل بخشد (۴۳). نتایج همچنین نشان داد تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله را با میانگینی معادل ۲۹/۳ عدد به خود اختصاص داد. همچنین در تیمار زئولیت، بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار ۵ تن در هکتار با میانگینی معادل ۲۶/۱ عدد بود (شکل ۴ د). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که مصرف کود نیتروژن در مراحل مختلف رشد گندم از طریق افزایش تعداد پنجه در هر بوته، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در هر سنبله، وزن هزار دانه و تجمع بیش‌تر ماده‌ی خشک موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (۱ و ۲).

میرزاخانی و ملکی (۳۶) در پژوهشی بیشینه تعداد سنبله گندم در متر مربع (با میانگین ۵۸۷/۳ عدد) را در تیمار آبیاری شاهد + مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت و کمینه تعداد آن (با میانگین ۳۵۰/۷ عدد) را در تیمار آبیاری براساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه + مصرف ۳ تن در هکتار زئولیت گزارش کردند. این محققین بیان کردند با افزایش تنش آبی و کاهش مصرف زئولیت، تعداد سنبله در متر مربع تحت تأثیر قرار گرفته و کاهشی معادل ۴۰/۲۸ عدد را به‌دنبال داشته است. سیبی و همکاران (۵۲) معنی‌دار بودن اثر تیمار آبیاری، زئولیت و همچنین اسید سالیسیلیک بر صفت تعداد دانه در غوزه گلرنگ بهاره را گزارش کردند. فرمهینی فراهانی[1] (۱۴) نیز بیان کردند که در بین سطوح مختلف تیمارهای مواد جاذب رطوبت، بیشینه تعداد سنبله در متر مربع (با میانگین ۴۱۸/۶ عدد) مربوط به تیمار ۴ تن زئولیت + ۲ تن بنتونیت + ۱۵ تن کود دامی و کمینه تعداد آن (با میانگین ۳۵۴/۴ عدد) مربوط به تیمار ۲ تن بنتونیت + ۱۵ تن کود دامی در هکتار است.

1- Farmahini Farahani *et al.*



شکل(٤) مقایسه میانگین اثرات زئولیت و نیتروژن بر وزن هزار دانه گندم (الف)، پروتئین دانه (ب)، تعداد سنبله (ج)، تعداد دانه در سنبله (د)، عملکرد اقتصادی (ه) و عملکرد بیولوژیک (و). Z1، Z2، Z3 و Z4 به‌ترتیب مقادیر زئولیت در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار و N1، N2، N3 و N4 به ترتیب مقادیر نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری در $P < ۰/۰۵$ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

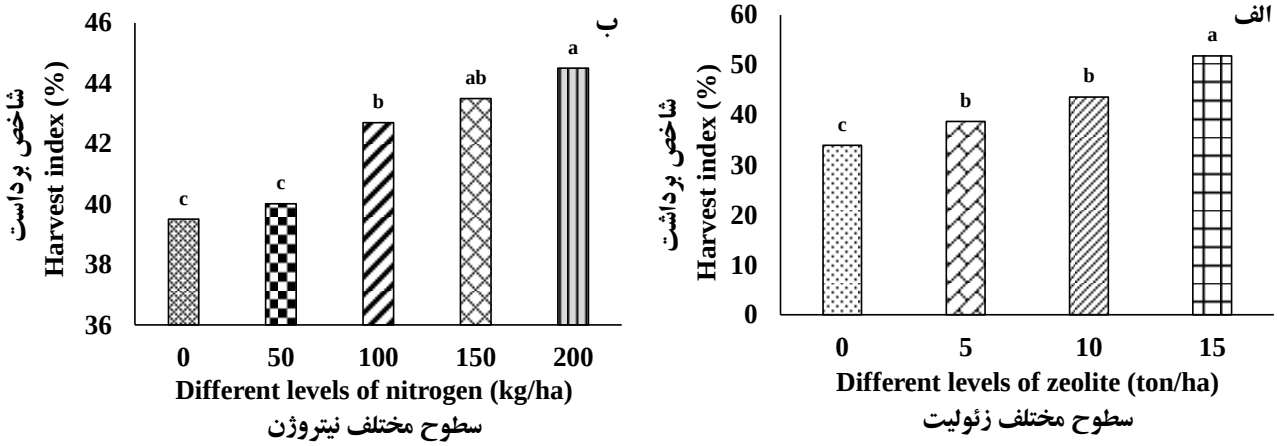
Figure (4) Mean comparison of the effects of zeolite and nitrogen on 1000- grain weight of wheat (a), grain protein (b), number of spikes (c), number of grain per spike (d), economic (e) and biological yield (f). Z1, Z2, Z3 and Z4 are zeolite application rates of 0, 5, 10, and 15 ton/ha, respectively. N1, N2, N3, N4, N5 are nitrogen application rates of 0, 50, 100, 150 and 200 kg/ha, respectively. Mean values followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ by the Duncan's test.

عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین میزان عملکرد اقتصادی (۴۸۱/۳ گرم در متر مربع)، و تیمار عدم کاربرد زئولیت، کمترین مقدار (۸۵/۳ گرم در متر مربع) آن را به خود اختصاص دادند (شکل ۴ ه). نتایج همچنین نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک (۱۰۷۴ و ۱۰۴۸ گرم در متر مربع) در تیمارهای ۵ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت، و کمترین مقدار عملکرد آن (۵۴۴/۳ گرم در متر مربع) نیز در تیمار عدم کاربرد زئولیت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۴ و). به نظر می‌رسد اثر مثبت نیتروژن بر افزایش عملکرد بیولوژیکی به‌دلیل نقش مؤثر نیتروژن در افزایش تولیدات سنتزی و اختصاص این مواد به اندام‌های هوایی و دانه باشد. در واقع کاربرد سطوح بالای نیتروژن با افزایش و تحریک رشد رویشی اندام‌های هوایی گیاه، باعث افزایش عملکرد کاه و کلش و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک می‌گردد (۲۶). میرزاخانی و ملکی (۳۶) بیان کردند که افزایش مصرف زئولیت می‌تواند سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه گندم گردد. هرچند مقدار نوسانات عملکرد دانه، در بین سطوح مختلف زئولیت، چندان شدید نبود، به‌طوری که میانگین کاهش عملکرد دانه ناشی از تیمار عدم مصرف زئولیت، معادل ۱۶/۷۹ درصد تیمار مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت بود. سیبی و همکاران (۵۲) نیز بین سطوح مختلف زئولیت استفاده شده، بیشینه عملکرد دانه را در تیمار مصرف ۹ تن زئولیت در هکتار گزارش کردند.

۳-۶- شاخص برداشت

با توجه به نتایج، تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین میزان شاخص برداشت (۵۱/۸ درصد) و تیمار شاهد (عدم کابرد زئولیت و نیتروژن) کمترین میزان شاخص برداشت (۳۳/۹ درصد) را به خود اختصاص دادند (شکل‌های ۵ الف و ب). یکی از دلایل افزایش شاخص برداشت در تیمار زئولیت، می‌تواند بهبود جذب آب توسط گیاه باشد. کمبود آب می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر صفات مرتبط با مرحله رشد زایشی گیاه از جمله شاخص برداشت داشته باشد و سبب کاهش شاخص برداشت گردد، زیرا آب در انتقال مؤثر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها تأثیرگذار بوده و تنش آبی از طریق افزایش غلظت شیره سلولی از آن ممانعت به‌عمل می‌آورد (۱۹).



شکل(۵) مقایسه اثر سطوح مختلف زئولیت (الف) و نیتروژن (ب) بر شاخص برداشت. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری در P < ۰/۰۵ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Figure (5) Mean comparison of the effect of zeolite (a) and nitrogen (b) on harvest index. Mean values followed by different letters are significantly different at P < 0.05 by the Duncan's test.

به‌دلیل توانایی بالایی که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد، می‌تواند مقدار قابل‌توجهی آب را پس از هر بار آبیاری در منافذ خود جذب و نگه‌داری کند و به‌مرور در روزهای بعد از آبیاری که رطوبت خاک مزرعه کاهش می‌یابد، آب جذب شده را در اختیار ریشه گیاه قرار دهد (۴۵). زئولیت با تأثیر افزایشی که بر نگه‌داری آب خاک داشته، سبب بهبود جذب آب توسط گیاه و افزایش شاخص برداشت شده است. افزایش مصرف نیتروژن نیز سبب اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به بخش زایشی گندم شده، به‌طوری که عملکرد دانه آن نسبت به عملکرد بیولوژیک افزایش بیش‌تری داشته و سبب افزایش شاخص برداشت گردیده‌است (۲۱). سیبی و همکاران (۵۲) گزارش کردند که مصرف ۹ تن زئولیت در هکتار در مقایسه با تیمار عدم مصرف زئولیت، توانسته شاخص برداشت دانه گلرنگ را ۵/۰۷ درصد افزایش دهد. این محققین نقش مثبت زئولیت را به کاهش صدمات ناشی از تنش کمبود آب نسبت دادند. زئولیت با مهیا کردن مقادیر بیشتری از رطوبت برای ریشه‌ها، باعث بوجود آمدن شرایط بهینه رشد و نمو برای گیاهان شده و تخریب غشاهای سلولی را کاهش می‌دهد. میرزاخانی و ملکی (۳۶) نیز بیشینه شاخص برداشت را با میانگین ۵۱/۴۳ درصد در تیمار ۹ تن زئولیت و آبیاری ۷۰ درصد و کمینه مقدار آن نیز با میانگین ۳۳/۳۳ درصد در تیمار ۳ تن زئولیت و آبیاری بدون تنش (شاهد) به‌دست آوردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک موردمطالعه در این پژوهش همچون چگالی ظاهری و حقیقی، تخلخل کل خاک و همچنین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تعدادی از ویژگی‌های شیمیایی خاک همچون pH، EC و CEC بطور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات باقیمانده زئولیت، تیمار نیتروژن و اثرات متقابل آنها قرارگرفت. در بین صفات گیاهی مورد مطالعه نیز، تیمار نیتروژن و اثرات باقیمانده سطوح مختلف زئولیت سبب تأثیر معنی‌داری بر پروتئین دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گردید.

در مجموع، نتایج این پژوهش بیان‌گر آن است که مصرف زئولیت به عنوان یک بهساز معدنی به تنهایی یا همراه با کود شیمیایی نیتروژنه، با بیشتر شاخص‌های کیفیت خاک و همچنین شاخص‌های رشد و تغذیه گیاه گندم ارتباط معنی‌داری داشته و نتایج، نشان دهنده وجود تأثیر زئولیت بعد از دو سال بود.

References

1. Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M., Dolatabadian, A., Khodaei-Joghan, A., and Sadat Asilan, K. 2012. Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 58(10), 1149-1169.

2. Ahmed, O.H., Sumalatha, G., and Muhamad, A.M.N. 2010. Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. International Journal of the Physical Sciences, 5(15): 2393-2401.

3. Amiri, A., Tohidi, A., Javaheri, M. and Mohamadian Nezhad, G. 2011. Study the effect of planting time, cultivar and azetobacter on wheat yield at Bardsir region. Journal of Crops Improvement, 12(1): 11-19.

4. Andry, H., Yamamoto, T., and Inoue, M. 2009. Influence of Artificial Zeolite and Hydrated Lime Amendments on the Erodibility of an Acidic Soil. Communications Soil Science and Plant Analysis, 40: 1053- 1072.

5. Ansari Mahabadi, A., Hajabbasi, M. A., Khademi, H. And Kazemian, H. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iarnian natural Zeolite. Geoderma, 137: 388- 393.

6. Bahador, M., Ebdali Mashadi, R., Siadat, A., Fathi, A., and Lotfi Jalal Abadi, A. 2015. Effect of Zeolite and seed priming on grain nitrogen content, leaf chlorophyll and traits dependent to grain yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. Journal of Plant Process and Functions, 4(11), 137- 147. (In Persian with English abstract)

7. Basari M.H.A., Abdu A., Jusop S., Ahmed O.H., Abdul-Hamid H., Kusno M.A., Zainal B., Senin A.L., and Junejo N. 2013. Effect of mixed organic and inorganic fertilizers application on soil properties and the growth of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Culitiva on brise Soils. American Journal of Applied Sciences, 10 (12): 1586-1597.

8. Behzadfar, M., Sadeghi, S.H.R., Khanjani, M.J., and Hazbavi, Z. 2017. Effects of rates and time of zeolite application on controlling runoff generation and soil loss from a soil subjected to a freeze-thaw cycle. International Soil and Water Conservation Research, 5: 95-101.

9. Brevik, E., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J., Six, J., and Oost, K. 2015. The interdisciplinary nature of SOIL. Soil, 1. 117−129.

10. Corradini, E., De Moura, M. R., and Mattoso, L. H. C. 2010. A Preliminary Study of the Incorporation of NPK Fertilizer into Chitosan Nanoparticles. Express Polymer Letters, 4(8), 509-515.

11. Dane, J.H. and Topp, C.G. 2002. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods. SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Madison, WI. 1008 P.

12. Doni, S., Gispert, M., Peruzzi, E., Macci, C., Mattii, G.B., Manzi, D., Masini, C.M. and Grazia, M. 2020. Impact of natural zeolite on chemical and biochemical properties of vineyard soils. Soil Use and Management, 00: 1– 11

13. Elwan, M. W. M. and Abdel-Hamed, K. E. 2011. Influence of nitrogen from, growing season and sulfur fertilization on yield and the content of nitrate and vitamin C of broccoli. Scientia Horticulturae, 127(3): 181-187.

14. Farmahini Farahani, M., Mirzakhani, M, and Sajedi, N. 2015. Investigation the agronomic and physiological characteristics of Alvand wheat cultivar under water tension conditions, application of animal manure and bentonite. Crop physiology Journal, 25: 17-27. (In Persian with English abstract)

15. Flajšman, M., Mihelič, R., Kolmanič, A., and Ačko, D.K. 2020. Influence of soil amended with zeolite and/or mineral N on agronomic performance and soil mineral N dynamics in a soybean–winter triticale crop rotation field experiment. Cereal Research communication, 48:239-246.

16. Garau, G., Castaldi, P., Santona, L., Deeiana., P., and Melis, P. 2007. Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil. Geoderma. 142: 47- 57.

17. Ghazavi, R. 2015. The application effects of natural zeolite on soil runoff, soil drainage and some chemical soil properties in arid land area. International Journal of Innovation and Applied Studies, 13 (4): 172- 177.

18. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., and Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil and Tillage Research, 126, 193–202.

19. Gol-Abadi, M., Arzani, A., and Mirmohamadi Meibod A.M. 2008. Evaluation of influence of late-season moisture stress on yield and morpho-physiological characteristics of F3 families of durum wheat. Iranian Journal of Field Crops Research, 6: 405-418. (In Persian with English abstract)

20. Gül, A., Eroğul, D., and Ongun, A. R. (2005). Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. Scientia Horticulturae, 106(4), 464-471.

21. Hasanvand. F., Mahmoodi, S., and Eslami, S.V. 2014. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on wheat harvest index (*Triticum aesativum* L.) at different densities of wheat and azalea (*Cardaria draba*) in interference conditions. The third national congress on organic and conventional agriculture.

22. Huang, Z. and Petrovic, A. 1994. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand-based golf greens. Journal of Environmental Quality, 23(6), 1190–1194.

23. Karapinar, N. 2009. Application of natural zeolite for phosphorus and ammonium removal from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials, 170, 1186–1191.

24. Karimi, 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: 1427-1441.

25. Kavoosi, M. 2007. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38(1-2), 69-76.

26. Khayat, S., Mojadam, M., and Alavi Fazel, M. 2014. Effect of nitrogen rates on grain yield and nitrogen use efficiency of durum wheat genotypes in Khouzestan. Crop physiology Journal, 21:103-113. (In Persian with English abstract)

27. Khodarahmi, Y. Boroomand Nasab, S. Soltani Mohammadi., and Nasseri, A.A. 2018. Evaluation of modified biochar and zeolite effect on some physical and chemical properties of loamy soil. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 8: 87-101. (In Persian with English abstract)

28. Kutcher, H., Malhi, S., and Gill, K. 2005. Topography and management of nitrogen and fungicide affects diseases and productivity of canola. Agronomy Journal, 97(2), 533-541.

29. Latifah, O., Ahmed, O. H., and Majid, N. M. A. 2017. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. Geoderma, 306, 152-159.

30. Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., An, H., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F. and Sporns, P., Eds., Current Protocols in Food Analytical Chemistry, John Wiley and Sons, New York, F4.3.1-F4.3.8.

31. 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.

32. Litaor, M., 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.

33. MacKown, C. and Tucker, T. 1985. Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite. Soil Science Society of America Journal, 49(1), 235–238.

34. Madrini, B., Shibusawa S., Kojima Y., and Hosaka, S. 2016. Effects of natural zeolite on ammonia emissions of leftover food-rice hulls composting at initial stages of the thermophilic process. Journal of Agriculture Meteorology, 72(1), 12-19.

35. Mehrab, N., Chorom, M., and Hojati, S. 2016. Effect of Raw and NH_4^+-enriched Zeolite on Nitrogen Uptake by Wheat and Nitrogen Leaching in Soils with Different Textures. Communications in Soil Science and Plant Analysis 47 (10), 1306-1316

36. Mirzakhani, M., and Maleki, G.R. 2017. Evaluation of some physiological characteristics of wheat under water stress and zeolite application. Applied Field Crops Research, 28(107): 58-66. (In Persian with English abstract)

37. Naderi, M., Banitaba, A., Shahsavari, M. and Javanmard, H. 2008. Evaluation of drought stress on early maturity of fall safflower in Isfahan region. Journal of Research in Agricultural Science, 3(2): 138-150. (In Persian with English abstract)

38. Nakhli, S. A. A., Delkash, M., Bakhshayesh, B. E., and Kazemian, H. 2017. Application of zeolites for sustainable agriculture: A review on water and nutrient retention. Water, Air, & Soil Pollution, 228 (12), 1-34.

39. Nargesi A.N., Akhzari, D., and Fatahi, B. 2017. Interaction zeolite and compost on soil characteristics and performance of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.). Journal of Plant Ecosystem Conservation, 4(9): 151-164.

40. Noori, M., Zendehdel, M., and Ahmadi, A. 2006. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. Toxicological and Environmental Chemistry. 88: 77-84.

41. Ok, C.H., Anderson, S.H., and Ervin, E.H. 2003. Amendments and construction systems for improving the performance of sand-based putting greens. Agronomy Journal, 95 (7): 1583-1590.

42. Ozbahce A., Tari F., Gönülal E., Simsekli N., and Padem H. 2014. The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. Archives of Agronomy and Soil Science, 61(5): 615-626.

43. Paknejad, F., Jami Al-Ahmadi, M., Pazoki, A., and Nasri, M. 2009. Investigation of the drought stress effects on yield and yield components in wheat cultivars. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 1: 1-15. (In Persian with English abstract)

44. Polat, E., Karaca, M., Demir, H., and Onus, A. N. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 12(1), 183-189.

45. Porkashef, H., Gharineh, M. H., Shafeinia, A. R., and Roozrokh, M. 2017. Effect of Different Levels of Zeolite on Yield of Red Bean (*Phasaeolus vulgaris* L.) Under Drought Stress in Kermanshah Climate Condition. Plant Production Technology, 9(1): 141-151. (In Persian with English abstract)

46. Ramesh, V., Jyothi, J. S., and Shibli, S. (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.

47. Ravali, C., Rao, K.J., Anjaiah, T., and Suresh, K. 2020. Effect of zeolite on soil physical and physico-chemical properties. Multilogic in science, X(XXXIII): 776–781.

48. Razmi, Zahra and Sepaskhah, Ali. 2012. Effect of zeolite on saturated hydraulic conductivity and crack behavior of silty clay paddled soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 58, 805-816.

49. Reynolds, W., and Elrick, D., 1987. A laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method. Soil Science, 144, 282-299

50. Rigby, D., and Caceres, D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. Agricultural Systems, 68: 21-40.

51. Sepaskhah. A.R., and Barzegar, M. 2010. Yield, water and nitrogen- use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi- arid environment. Agricultural Water Management, 98: 38-44.

52. Sibi, M., Mirzakhani, M., and 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.

53. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A. and Loeppert, R.H. 1996. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Madison, WI. 1390 P.

54. Taghdisi Heydariyan, S.Z., khorassani, R. and Emami, H. 2018. Effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. Journal of Soil and Water Conservation, 25: 149-166. (In Persian with English abstract)

55. Wang J. Z., Hu Z. Y., Zhou X. Q., An Z. Z., Gao J. F., Liu X. N., Jiang L. L., Lu J., Kang X. M., Li, M., Hao, Y. B., and Kardol P. (2012). Effects of reed straw, zeolite, and superphosphate amendments on ammonia and greenhouse gas emissions from stored duck manure. Journal of Environmental Quality, 41(4):1221-7.

56. Wei, D., Xue, X.D., Chen, S.W., Zhang, Y.F., Yan, L.G., Wei, Q. and Du, B. 2013. Enhanced aerobic granulation and nitrogen removal by the addition of zeolite powder in a sequencing batch reactor. Applied Microbiology and Biotechnology, 97 (20), 9235–9243.

57. Zheng, J., Chen, T., Chi, D., Xia, G., Wu, Q., Liu, G., Chen, W., Meng, W., Chen, Y., and Siddique, K.H.M. 2019. Influence of zeolite and phosphorus applications on water use, P uptake and yield in rice under different irrigation managements. Agronomy, 9, 537.