Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

The Effect of Adding Rice Husk and Zeolite on Some of the Soil Properties at Different Times

Sahar Ekhtiarian[1], Sima Mohammadi[2]✉, Afsaneh Alinejadian Bid Abadi[3]

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: Ekhtiarian.s@lu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: Mohmmadi.s@lu.ac.ir
3. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: Alinezhadian.a@lu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 29, 2022

Revised: Sep. 1, 2022

Accepted: Sep. 3, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:
Aggregate stability,
Soil modifiers,
Soil conservation,
Times of incubation

ABSTRACT

Although the use of fertilizer in poor soils is essential for increasing soil fertility and optimal growth of plant, but in recent years, chemical fertilizers have caused a lot of environmental damages. Thus, this study was conducted to investigate the effect of organic matter (Rice Husk) and mineral modifiers (Clinoptilolite Zeolite) on some soil properties. For this purpose, an experiment was performed in 2020 in the greenhouse faculty of the agricultural and natural resources of lorestan university. Test treatments include: 1- organic modifiers with three level (1, 3, 5 wool weight) and mineral modifiers with three level (3, 5, 10 wool weight) and control treatment 2- three different incubation time (30 as control, 60, 90 days). Before starting the proposed times, one month incubation was applied to the soil to adjust the soil material. The result showed that the use of both modifiers increased average weight of the aggregate diameter, porosity, weight moisture, electrical conductivity, total nitrogen, acidity, carbon ratio to nitrogen and microbial respiration compared to the control. The average weight of aggregate diameter increased by 26.7% compared to the control. But, the amount of bulk density and the hydrophobicity of the samples were decreased as compared to the control treatment. 10% weight of zeolite and 3% weight of rice shell treatment reduced hydrophobicity by about 37.8% compared to the control. Over time, the amount of bulk density, porosity, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen and microbial respiration showed a reduction trend, but the soil acidity and carbon ratio to nitrogen had an increasing trend. The carbon/nitrogen ratio during the incubation period of 60 and 90 days, significantly increased by 7.04 and 17.32% compared to the control. The result of data analysis showed that the effect of time on hydrophobic and average weight of the aggregate diameter and weight moisture was not significant.

Cite this article: Ekhtiarian, S., Mohammadi, S., & Alinejadian Bidabadi, A. (2022). The Effect of Adding Rice Husk and Zeolite on Some of the Soil Properties at Different Times. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1863-1884.
© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.343787.669282

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۸ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی تأثیر نوع و زمان افزودن اصلاح‌کننده آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) بر برخی از ویژگی‌های خاک

سحر اختیاریان[۱]، سیما محمدی[۲]✉، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ایمیل: Ekhtiarian.s@lu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ایمیل: Mohmmadi.s@lu.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ایمیل: Alinezhadian.a@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:
اصلاح کننده‌های خاک،
حفاظت خاک،
پایداری خاکدانه،
زمان انکوباسیون

چکیده

اگرچه استفاده از کود در خاک‌های فقیر جهت افزایش حاصلخیزی خاک و رشد بهینه گیاهان امری ضروری است، اما در سال‌های اخیر استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های زیست محیطی فراوانی شده است. به همین جهت تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر دو نوع ماده اصلاح‌کننده آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت کلینوپتیلولیت) بر برخی ویژگی‌های خاک در سال ۱۳۹۹ در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل اصلاح کننده‌های آلی با سه سطح (یک، سه و پنج درصد وزنی)، معدنی با سه سطح (سه، پنج و ده درصد وزنی) و تیمار شاهد و سه زمان مختلف انکوباسیون (۳۰ (شاهد)، ۶۰ و ۹۰ روز) بودند. قبل از شروع سه زمان مذکور، یک ماه انکوباسیون برای به تعادل رسیدن مواد اصلاحی و خاک نیز اعمال شد. نتایج نشان داد که کاربرد هر دو اصلاح‌کننده باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تخلخل، رطوبت وزنی، هدایت الکتریکی، اسیدیته، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن و تنفس میکروبی نسبت به شاهد شد. تیمار ۵ درصد وزنی پوسته برنج باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (۲۶/۷ درصد) نسبت به شاهد شد، اما اثر کاهشی روی جرم مخصوص ظاهری و آب‌گریزی نسبت به تیمار شاهد نشان داد. آب‌گریزی تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت و ۳ درصد وزنی پوسته برنج حدود ۳۷/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. با گذشت زمان میزان جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل و تنفس میکروبی روند کاهشی داشت، اما زمان بر اسیدیته و نسبت کربن به نیتروژن خاک اثر افزایشی داشت. نسبت کربن به نیتروژن در دوره انکوباسیون ۶۰ و ۹۰ روز نسبت به شاهد، به ترتیب به میزان ۷/۰۴ و ۱۷/۳۲ درصد افزایش معنی‌دار داشته است. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که تأثیر زمان بر آب‌گریزی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و رطوبت وزنی معنی‌دار نگردید.

استناد: اختیاریان، سحر؛ محمدی، سیما؛ عالی نژادیان بیدآبادی، افسانه. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر نوع و زمان افزودن اصلاح‌کننده آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) بر برخی از ویژگی‌های خاک. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۸۸۴-۱۸۶۳.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.343787.669282

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

چالش تولید مواد غذایی بیشتر برای جمعیت روبه رشد جهان و در عین حال کاهش تغییرات آب و هوا، نیازمند راه‌حل‌های جدید برای مدیریت سیستم‌های کشاورزی است. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها در خاک به‌عنوان روشی جایگزین برای افزایش بالقوه کیفیت خاک در طولانی مدت مورد توجه قرار داده است (OToole et al (2018 ، با توجه به اینکه اغلب خاک‌های ایران با اقلیم خشک و نیمه خشک، دارای کمتر از یک درصد ماده آلی هستند، این مسئله ممکن است سبب کیفیت فیزیکی ضعیف به‌ویژه از نظر پایداری ساختمان در آن‌ها شده است که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی سبب بهبود کیفیت خاک شود.

تخریب خاک فرایندی است که در طیف گسترده‌ای از بازه‌های زمانی رخ می‌دهد. عوامل مخرب علاوه بر از بین بردن خاک ، کاهش قابل ملاحظه‌ای در حاصلخیزی آن نیز ایجاد می‌کنند. اکثر مواد سیمان کننده خاکدانه‌ها که مواد آلی می‌باشند با از هم پاشیدن خاکدانه‌ها از بین می‌روند. تخریب خاک یک مشکل جدی است که باعث کاهش یا از دست دادن کل بهره‌وری فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی می‌شود. از جمله راه‌های کنترل یا کاهش تخریب خاک، افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به خاک می‌باشد.

استفاده از بقایای محصولات زراعی هر منطقه، یکی از کم هزینه‌ترین روش‌های اصلاح خاک می‌باشد. به همین دلیل از بین عملیات مختلف کشاورزی، برگرداندن بقایای گیاهی به طور گسترده‌ای برای افزایش حاصلخیزی و میزان ماده آلی خاک تأیید شده است (Zhao *et al*., 2016).

یکی از پسماندهای گیاهی، پوسته یا شلتوک برنج می‌باشد. پوسته برنج روکش روی دانه‌های برنج است. شلتوک برنج باعث زهکشی هرچه بیشتر خاک می‌شود و در عین حال بسیار سبک بوده و حاوی مواد مغذی بسیار زیادی برای خاک می‌باشند (Heidari, 2020).

علاوه بر مواد آلی که برای اصلاح خاک مناسب می‌باشند، مواد معدنی نیز همین خاصیت را دارا هستند. موادی چون زئولیت‌ها، که کانی‌های آلومینوسیلیکاته و از رایج‌ترین ترکیبات معدنی در میان سنگ‌ها هستند. خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد زئولیت‌های طبیعی، همراه با فراوانی آنها در ترکیبات رسوبی و سنگ‌های آتشفشانی، کاربرد زئولیت‌ها را در صنایع مختلف به خصوص در بسیاری از بخش‌های کشاورزی و محیط زیست مقدور ساخته است (Mahrokh *et al*,2020).

طی تحقیقی گزارش کردند بقایای گیاهی گندم در طول سه سال سبب بهبود جرم مخصوص ظاهری خاک، تخلخل کل و استحکام خاکدانه‌ها می‌شود. همچنین گزارش کردند که کاه وکلش در سطح بالا ی پنج تن بر هکتار سبب افزایش ظرفیت نگهداری، رطوبت زراعی و تخلخل کل خاک می‌شود و علاوه بر آن، با افزایش سطح استفاده کاه و کلش گندم سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌گردد ولی در سطح کمتر از یک تن بر هکتار استفاده از مالچ کاه و کلش گندم اثر معنی‌دار بر خصوصیات فیزیکی خاک ندارد و همچنین بیان کردند که کاه و کلش گندم در سطوح بالاتر از ده تن بر هکتار سبب افزایش رطوبت در نقطه پژمردگی دائم می‌شوند (Jordan *et al*, 2010).

طی پژوهشی به این نتایج دست یافتند که، افزایش مقدار زئولیت، سبب افزایش درصد رطوبت اشباع، رس قابل پراکنش در آب و کاهش جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (الک خشک) شد. همچنین کود آلی سبب کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری، رس قابل پراکنش در آب و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (الک تر) شد .Taghdisi Heydarian *et al*)2018).

زمان یکی از فاکتورهای مهم برای اصلاح و بهسازی خاک است که در همه‌ی فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موثر می باشد. تغییرات زمانی (کوتاه‌مدت، بلندمدت) اثرات متفاوتی بر انواع فرایندهای اساسی خاک دارد. نتایج پژوهش Rousta *et al*. (2010) ، نشان داد، یک، چهار، هفت و ده ماه پس از اعمال تیمارها، بر اساس میانگین چهار مرحله اندازه‌گیری، تیمارهای کاربرد مواد آلی (به میزان یک درصد وزنی) و کاه و کلش همراه با مواد معدنی (هریک به میزان یک درصد وزنی) به ترتیب باعث افزایش ۲/۸ و۲/۹ برابری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد (۰/۱۴۹ میلی متر) گردیدند.

در تحقیقی که توسط Enayati *et al*. (2011)، انجام شد، نتایج نشان داد که یک، چهار و هفت ماه بعد از اعمال تیمارها (گچ خالص، کاه و کلش خرد شده گندم، کود دامی، کاه و کلش همراه با گچ، کود دامی همراه با گچ) در مقایسه با شاهد توانستند میزان خاکدانه‌های با اندازه ۴۰۰۰-۲۰۰۰ میکرومتر را به طور قابل توجهی در سطح ۵ درصد افزایش دهند.

طی تحقیقی ۵ ماهه گزارش شد که، تیمارهای اعمال شده (زئولیت و کمپوست دامی) باعث افزایش پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، رطوبت وزنی و میزان پتاسیم خاک شد و باعث کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری خاک گردید(Nargesi Alipour *et al*. 2016).

همانطورکه از زمان کاربرد اصلاح‌کننده‌ها می‌گذرد، واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی روی سطح ذرات اصلاح کننده می‌تواند خصوصیات آن‌ها را تغییر دهد که این تغییر به نوبه خود باعث تغییرات خصوصیات خاک می‌شود. بنابراین بررسی تغییرات ویژگی‌های

خاک با گذشت زمان پس از کاربرد اصلاح کننده، برای تعیین چگونگی تغییر اثرات اصلاح کننده‌ها ضروری است.

عدم مدیریت صحیح و استفاده نادرست از خاک دشواری‌های زیست محیطی و کاهش پایداری خاک را به دنبال خواهد داشت. با توجه به اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های صنعتی از جمله کودهای شیمیایی، امروزه بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار افزوده می‌شود (Das *et al*., 2015). لذا حفاظت خاک از ضروری‌ترین اقدامات در زمینه مدیریت پایدار خاک می‌باشد. خاک از منابع طبیعی ارزشمند جهان است که مدیریت پایدار آن تنها با حفظ و بقای چرخه زیستی محقق می‌شود (lal and Pierce, 1991). خاک به عنوان یکی از با ارزش ترین منابع حیاتی محسوب می‌شود چرا که رشد گیاهان را تضمین کرده و بیش از ۹۷ درصد نیازهای غذایی جهان را برآورده می‌کند.

پژوهش‌های زیادی نیاز است تا تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی معدنی بر تغییر خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی با چنین مقادیری از زئولیت و پوسته برنج با بررسی تأثیر زمان، روی خاک‌های منطقه، مورد مطالعه قرار نگرفته بود. لذا پژوهش مذکور با هدف پاسخ‌گویی به سوال‌های زیر ضروری است: ۱- کدام یک از تیمارهای زئولیت و شلتوک برنج بیشترین تأثیر را بر پایداری خاکدانه‌ها دارند؟ ۲- مناسب ترین سطح کاربرد زئولیت و شلتوک برنج برای بهبود خصوصیات فیزیکی خاک کدام است؟ ۳- آیا استفاده از تیمارها در زمان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر بهبود خصوصیات فیزیکی خاک دارد؟

مواد و روش‌ها

منطقه، نمونه برداری از خاک و آنالیز نمونه‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۹ بصورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان با (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. گلخانه مذکور در جهت شمالی-جنوبی، دارای پوشش پلی کربنات، مجهز به تهویه جانبی، سایه‌بان و دستگاه خنک کننده می‌باشد. زئولیت مورد استفاده در این پژوهش، زئولیت کلینوپیتلولایت سمنان با پایه پتاسیم، که از شرکت PARSORE تهیه گردید. پوسته برنج مورد استفاده در این تحقیق، از بوجاری‌های روستایی نزدیک شهرستان خرم آباد تهیه گردید. خاک مورد نیاز از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با عمق ۵۰-۰ سانتی متر برداشت شد و پس از خشک شدن و عبور دادن از الک ۴، در هرگلدان به مقدار ۲ کیلوگرم ریخته شد. تیمارهای آزمایش شامل: ۱- اصلاح‌کننده‌های آلی با سه سطح (یک، سه و پنج درصد وزنی)، معدنی با سه سطح (سه، پنج و ده درصد وزنی) و تیمار شاهد و ۲- سه زمان مختلف انکوباسیون (۳۰(شاهد)، ۶۰ و ۹۰ روز)، گلدان‌ها در شرایط ثابت دمای ۲۵ درجه و رطوبت ۵۰ درصد بودند. که سطح صفر به عنوان شاهد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تیمارها و تکرارها در ۶۳ گلدان به ارتفاع ۱۵سانتی متر و قطر ۱۸سانتی متر، مواد اصلاحی با دو کیلوگرم خاک مخلوط و سپس شماره گذاری شدند. پس از پایان هر دوره زمانی، ابتدا برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری نمونه‌برداری با استفاده از حلقه‌های مخصوص، انجام شد. سپس خاک هر گلدان برای هوا خشک شدن، به‌طور جداگانه روی پلاستیک‌هایی ریخته و کاملا با هم مخلوط گردید. بعد از هوا خشک شدن، نمونه‌های خاک ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند و یک کیلوگرم از خاک هر گلدان که نماینده کل گلدان‌ها بود در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند، سپس برای هر نمونه خاک ۳ بار آزمایش مورد نظر تکرار شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و آزمایش‌های جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر (Blak and Hartge, 1986)، درصد تخلخل با توجه به مقادیر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی (Danielson and Sutheland,1986)، پایداری خاکدانه به روش غربال مرطوب و محاسبهMWD (میانگین وزنی قطر خاکدانه ها) (Kemper and Rosenau, 1986)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (Nelson and Sommers, 1996) ، اسیدیته خاک در خمیرگل اشباع (Thomas,1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی(Rhoades, 1996)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Klut, 1986) و تنفس میکروبی به روش تیتراسیون با اسیدکلریدریک (Anderson, 1982) اندازه‌گیری شدند.

تعیین ویژگی‌های خاک

قبل از اعمال تیمارهای آزمایشی در نمونه‌های برداشت شده پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی متری، برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شد (جدول۱).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	سیلت (٪)	رس (٪)	شن (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
رسی	۳۱/۴۸	۴۶/۸۰	۲۱/۷۲	۰/۹	۰/۰۹۶	۳۰	۷/۶۷	۰/۷۲

تجزیه و تحلیل آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعات، به منظور تجزیه واریانس از نرم افزار spss 22 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد و رسم شکل‌ها با استفاده از Excel انجام شد.

یافته‌ها و بحث

جرم مخصوص ظاهری

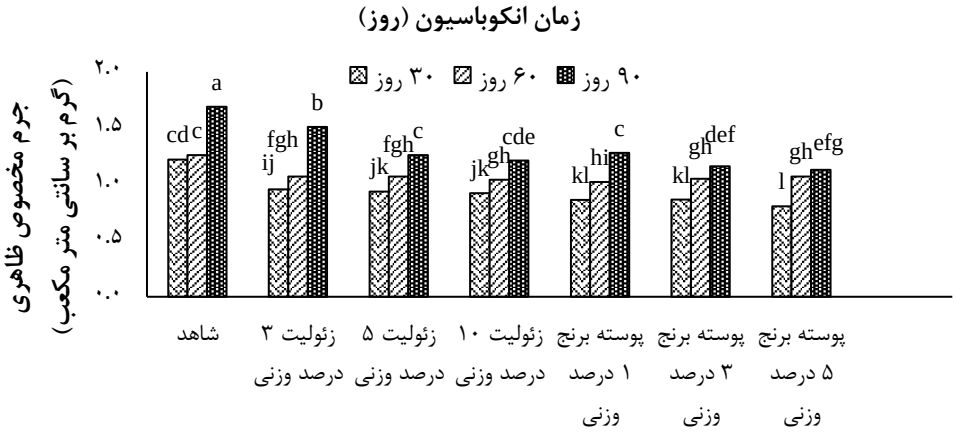
نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل مقدار و نوع اصلاح‌کننده‌ها و مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها بر جرم مخصوص ظاهری خاک در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین نوع و کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (پوسته برنج و زئولیت) و زمان کاربرد آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین میزان جرم مخصوص ظاهری در خاک بدون کاربرد اصلاح‌کننده و در زمان انکوباسیون ۹۰ روز به مقدار ۱/۶۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار در تیمار کاربرد ۵ درصد وزنی پوسته برنج و در دوره انکوباسیون ۳۰ روز به مقدار ۰/۸۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده گردید. در حالی‌که این مقدار با تیمارهای ۱ و ۳ درصد وزنی پوسته برنج در زمان انکوباسیون ۳۰ روز تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۱). نتایج اثر نوع و مقدار اصلاح‌کننده‌ها نشان می‌دهد که بین اثر سطوح اصلاح‌کننده‌ها بر جرم مخصوص ظاهری با شاهد در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع اصلاح‌کننده بر مقدار جرم مخصوص ظاهری نشان می‌هد که در زمان‌های مشابه پس از کاربرد بین نوع اصلاح‌کننده‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین اثر مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها نیز نشان می‌دهد بین سطوح مختلف زمانی پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین و کمترین مقدار جرم مخصوص مربوط به زمان ۹۰ روز و زمان ۳۰ روز پس از کاربرد است. با افزایش مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها روند کلی مقدار جرم مخصوص افزایشی است.

انتظار می‌رود با افزودن مواد آلی به خاک جرم مخصوص ظاهری و تراکم‌پذیری خاک کاهش یابد زیرا به‌طورکلی موادآلی دارای چگالی ظاهری کم بوده و از طرفی افزایش مواد آلی در خاک سبب افزایش تخلخل در خاک می‌شوند (Fetton, 1995). Zangooei Nasab *et al*. (2012) دریافتند که کاربرد زئولیت در خاک موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد که علت این امر ناشی از انبساط خاک بوده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل بر برخی خصوصیات خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		جرم مخصوص ظاهری	تخلخل	آبگریزی	میانگین وزنی قطر خاکدانه	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی خاک	تنفس میکروبی خاک	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن
اصلاح‌کننده	۶	۰/۱۶۳**	۸۳/۸۳**	۲/۰۶۳**	۰/۰۱۰**	۰/۲۹۳**	۰/۰۷۹**	۰/۲۱۸**	۰/۶۲۸**	۰/۰۰۱**	۱۰/۷۱**
زمان انکوباسیون	۲	۰/۷۹۱**	۶۶۲/۸**	۰/۰۱۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۳۵۲**	۱/۰۲۸**	۰/۰۲۳*	۰/۱۳۸**	۰/۰۰۲**	۲۴/۳۶**
اصلاح-کننده*زمان انکوباسیون	۱۲	۰/۰۱۸**	۱۳/۲۳**	۰/۱۸۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۵ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۰ns	۱/۹۴۱ns
تکرار	۲	۰/۰۰۸*	۵/۱۹۳ns	۰/۰۱۶ns	۰/۰۰۴*	۰/۰۱۶ns	۰/۰۱۸ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۴۵ns
خطا	۴۰	۰/۰۰۲	۴/۰۳۴	۰/۲۶۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱/۳۹۹

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

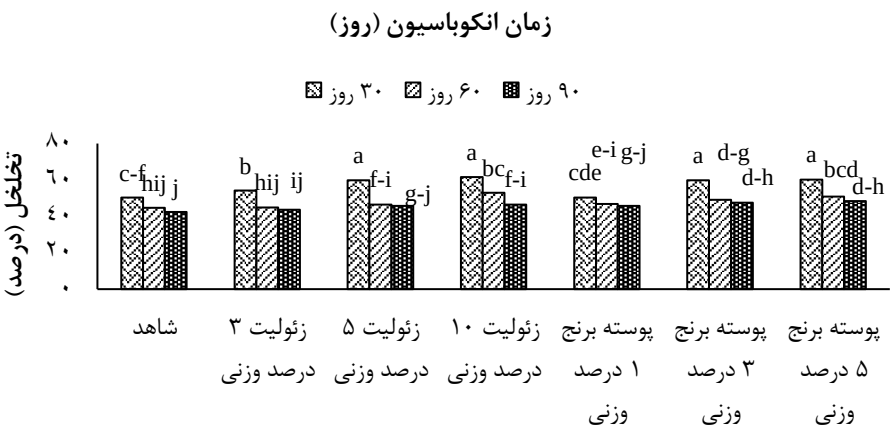
Taghdisi Heydarian (2018) گزارش کردند کاربرد زئولیت سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. آن‌ها بیان کردند جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای ۶ و ۱۲ درصد زئولیت در مقایسه با عدم مصرف زئولیت به‌ترتیب ۵/۰۲ و ۱۱/۱ درصد کاهش داشت. به‌نظر می‌رسد که تجزیه مواد آلی در ابتدا سبب کاهش ترکیبات حجیم‌تر و با چگالی کمتر و در نتیجه کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده باشد اما با گذشت زمان و تجزیه بیشتر مواد آلی، تأثیر ترکیبات حاصله بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر شده باشد. نتایج تحقیق Aslani *et al.* (2021)، بیانگر این بود که تأثیر سطوح زئولیت و نیتروژن بر چگالی ظاهری و حقیقی خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در پژوهشی دیگر Litaor *et al.* (2017)، به نتایج مشابهی دست یافتند، به‌طوری‌که کاهش چگالی ظاهری خاک را در تیمار ۲٪ زئولیت مشاهده کردند که این کاهش منجر به افزایش تخلخل کل خاک خواهد شد.

تخلخل

نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل مقدار و نوع اصلاح‌کننده‌ها و مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها بر تخلخل خاک در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین نوع و کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (پوسته برنج و زئولیت) و زمان کاربرد آنها در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان تخلخل خاک با کاربرد ۱۰ درصد وزنی زئولیت و در زمان انکوباسیون ۳۰ روز به مقدار ۶۱/۵ درصد مشاهده شد. در حالی‌که این سطح با کاربرد ۵ درصد وزنی زئولیت در همین زمان انکوباسیون (۳۰ روز) و همچنین با تیمار ۳ و ۵ درصد وزنی پوسته برنج و در زمان انکوباسیون ۳۰ روز، تفاوت معنی‌داری نداشت. علت بیشتر بودن مقدار تخلخل در زمان ۳۰روز پس از کاربرد نسبت به شاهد آن است که با مخلوط شدن زئولیت با داشتن تخلخل ذاتی بیشتر از ذرات معدنی خاک، به طورکلی سبب افزایش تخلخل، بهبود نسبی ساختمان و در نهایت منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است. همچنین کمترین تخلخل خاک در تیمار شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده و زمان ۹۰ روز) به مقدار ۴۲/۴۹ مشاهده گردید که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۲). بیشترین و کمترین مقدار تخلخل مربوط به زمان ۳۰ و ۹۰ روز پس از کاربرد است. با افزایش مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها روند کلی مقدار تخلخل کاهشی است. علت آن است که گاهی به سبب پایین بودن استحکام مکانیکی اصلاح‌کننده‌ها، با گذشت مدت زمان پس از کاربرد آنها، به سرعت به ذرات ریزتر تجزیه شده و با پرکردن منافذ خاک، تخلخل را کاهش می‌دهند که این یافته‌ها با نتایج Nasimi *et al.* (2020) مبنی بر کاهش تخلخل با گذشت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها هم‌خوانی دارد.

در ارزیابی اثرات بلند مدت کود آلی (بیوچار) روی خواص فیزیکی خاک Nasimi *et al.* (2020) به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک (تخلخل کل) می‌شود که بیشترین تأثیر آن در ماه اول بود. در نتیجه باعث افزایش منافذ درشت و منافذ بهم پیوسته مربوط می‌شود. Hardie *et al.* (2014) نیز بیان داشتند که تشکیل منافذ درشت در خاک‌های اصلاح شده با کود آلی سبب افزایش تخلخل کل مخلوط خاک می‌شود. کودهای معدنی نیز با افزایش منافذ (به‌طور منظم یا نامنظم) سبب افزایش تخلخل خاک می‌شود. زئولیت‌ها به‌دلیل داشتن تخلخل زیاد، تخلخل خاک را افزایش و سبب بهبود شرایط تهویه خاک در طولانی‌مدت می‌شوند (Shaddox, 2004). علت افزایش تخلخل در ماه اول آن است که افزودن اصلاح‌کننده‌ها سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری و تراکم

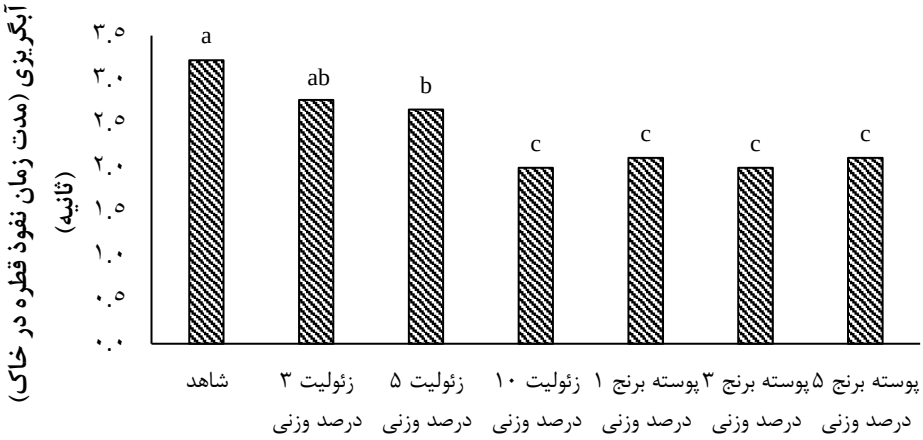
ذرات خاک شده است و بر تخلخل خاک تأثیر گذاشته است.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر تخلخل (درصد)
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

آب‌گریزی (مدت زمان نفوذ قطره در خاک)

با توجه به نتایج (جدول ۲)، اثر اصلاح‌کننده‌ها بر آب‌گریزی (مدت زمان نفوذ قطره در خاک) در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) سبب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی (مدت زمان نفوذ قطره) خاک نسبت به تیمار شاهد شده است (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر آب‌گریزی (مدت زمان نفوذ قطره در خاک) (ثانیه)

بطوریکه کاربرد ۳ درصد وزنی زئولیت، ۵ درصد وزنی زئولیت، ۱۰ درصد وزنی زئولیت، ۱ درصد وزنی پوسته، ۳ درصد وزنی پوسته و ۵ درصد وزنی پوسته برنج میانگین آب‌گریزی در خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۳/۹، ۱۷/۳، ۳۷/۸، ۳۴/۴، ۳۷/۸ و ۳۴/۴ درصد کاهش داد. در حالی‌که بین تیمارهایی که سطوح مختلف پوسته برنج و زئولیت دریافت کرده بودند، اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. به عبارت دیگر سطوح مختلف کاربرد هر کدام از اصلاح‌کننده‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند، در حالی‌که بین اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی با یکدیگر و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها، مقدار آب‌گربزی روند کاهشی نشان دادند.

کاهش مدت زمان لازم برای نفوذ قطرات آب به درون خاک در تیمارهای حاوی کانی زئولیت را می‌توان به توانایی زئولیت در پوشش دادن سطوح آب‌گریز در خاک و در نتیجه کاهش زمان لازم برای نفوذ قطرات آب نسبت داد (Dlapa *et al*., 2004). Farzadian

et al. (2015) در آزمایشی به بررسی میزان آب‌گریزی خاک با سه سطح زئولیت ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی پرداختند. نتایج نشان داد که کاربرد ۲ درصد وزنی زئولیت بیشترین کاهش در آب‌گریزی خاک مورد مطالعه را داشته است.

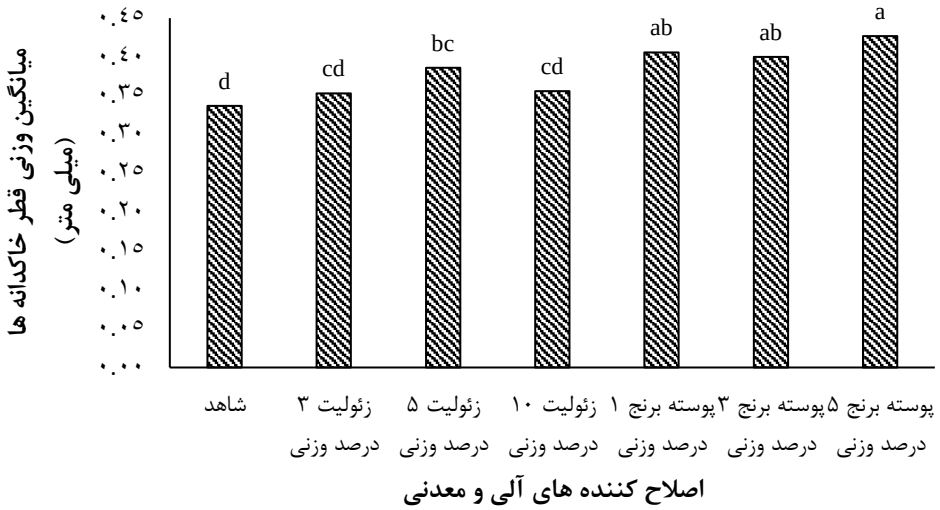
به اعتقاد McKissock et al (2003)، بررسی کیفی ماده آلی و شناسایی گروه‌های عاملی آب گریز به جای در نظر گرفتن کل توده کربن آلی خاک می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با میزان و شدت آب‌گریزی خاک ارائه دهد. از دیگر اهداف جزء به جزء کردن ماده آلی خاک که توجه کمتری به آن شده است تعیین وظایف و نقش هر یک از اجزاء در پدیده‌ها و واکنش‌های فیزیک‌و شیمیایی حاکم بر خاک‌ها از جمله خاصیت آب‌گریزی است (Atashnama *et al*, 2016).

وجود خاصیت آب‌گریزی در خاک‌ها علاوه بر مقدار به مدت زمان حضور ماده آلی در خاک نیز بستگی دارد. وجود واکنش خاک خنثی تا قلیایی در خاک باعث تسریع در تجزیه مواد آلی می‌شود که این امر به تشکیل بقایای مواد آلی با کیفیت مطلوب کمک می‌کند (Atashnama *et al*, 2016).

در پژوهش (Mohammadzadeh and Mohsenifar,2019) نتایج نشان داد که افزودن خاک اره و بقایای گندم به خاک، باعث کاهش زمان نفوذ آب به خاک شد و کلاس خاک را از آب‌گریز به نسبتا آب‌گریز بهبود داد. در صورتی‌که خاکستر خاک اره و خاکستر بقایای گندم این زمان را افزایش دادند.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (روش الک تر)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی اصلاح‌کننده‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها روش الک تر در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین نوع و کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (پوسته برنج و زئولیت) در شکل ۴ نشان داده شده است. کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد شد.



شکل ٤. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر میانگین وزنی قطر خاکدانه ها- روش الک تر (میلی متر)

کاربرد ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی پوسته برنج، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۲۰/۴، ۱۸/۶ و ۲۶/۷ درصد افزایش داد. همچنین کاربرد ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزنی زئولیت، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۴/۷۴، ۱۴/۵ و ۵/۶۹ درصد افزایش داد. به‌طورکلی بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه با کاربرد ۵ درصد وزنی پوسته برنج به مقدار ۰/۴۲۷ میلی‌متر بدست آمد.

در مجموع نتایج نشان داد روند کلی تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با افزایش مقدار اصلاح‌کننده‌ها روند مشخصی نداشت، در حالی‌که همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار اصلاح کننده‌های آلی و معدنی در جدول ۲ نشان می‌دهد که بین سطوح مختلف اصلاح کننده‌ها و نوع آنها تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.ت همچنین نتایج نشان داد بین سطوح و نوع اصلاح‌کننده‌ها نیز در مدت زمان‌های مختلف پس از کاربرد هم اختلاف معنی‌دار وجود نداشت.

با افزایش میزان مصرف مواد آلی، خاکدانه سازی به طور معنی داری بهبود یافته و در نتیجه خاکدانه‌های درشت‌تری تشکیل می‌شود. پژوهش‌های متعددی در مورد تأثیر مواد آلی بر خاکدانه سازی صورت گرفته است، نتایج آنها بیانگر تأثیر معنی‌دار کربن آلی بر میانگین

وزنی قطر خاکدانه‌ها بود که در پژوهش حاضر هم این معنی‌داری مشاهده شد (Vogelmann *et al*, 2013; Atashnama *et al*, 2016; Nasimi *et al*, 2020). طی پژوهش (Taghdisi et al, 2018) به این نتیجه رسیدند که، با افزودن زئولیت به خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک به خصوص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بهبود می‌یابد. نتایج تحقیق Nasimi *et al*, 2020 به نقش مؤثر مواد آلی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها و به دنبال آن ایجاد خاکدانه‌های بزرگتر و افزایش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه را با افزایش نیروی پیوستگی بین خاکدانه‌ها توسط ترکیبات موجود در مواد آلی مرتبط می‌دانند.

نتایج تحقیق(Benkova et al, 2005)، بر روی اثر بهسازهای مختلف آلی و معدنی از جمله زئولیت کلینوپتیلولایت را بر پایداری خاکدانه یک خاک اسیدی آلوده به فلزات سنگین بررسی شد و گزارش کردند، تیمارهای زئولیت در آزمایش الک تر، میانگین وزنی قطر بیشتری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند .به طوری‌که شاخص پایداری خاکدانه مربوط به همه‌ی تیمارهای زئولیت نسبت به تیمار شاهد بزرگتر بود. همچنین آنها گزارش کردند افزودن زئولیت باعث افزایش درصد کربن آلی کل خاک می‌شود.

رطوبت وزنی خاک در مکش‌های مختلف

نتایج تجزیه واریانس در جدول۳ نشان داد که تنها اثر سطوح اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر رطوبت وزنی خاک در مکش‌های ۰/۳، ۱، ۲، ۳ و ۴ بار در سطح یک درصد معنی دار است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلاح کننده‌ها بر رطوبت وزنی خاک در مکش‌های مختلف در سطح احتمال ۵ درصدمعنی دار بوده است. ولی مدت زمان کاربرد هر کدام از اصلاح‌کننده‌ها بر مقدار رطوبت وزنی تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. نتایج مقایسه میانگین نوع و کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (پوسته برنج و زئولیت) و زمان کاربرد آنها در جدول ۴ نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات با افزایش سطح اصلاح‌کننده‌ها افزایشی است. به‌طورکلی در تمامی مکش‌ها با افزایش کاربرد مواد اصلاح‌کننده پوسته برنج و زئولیت، درصد رطوبت وزنی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داشت.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر اصلاح کننده و زمان بر درصد رطوبت وزنی در مکش‌های مختلف

منابع تغییرات		میانگین مربعات				
	درجه آزادی	مکش ۰/۳ بار	مکش ۱ بار	مکش ۲ بار	مکش ۳ بار	مکش ٤ بار
اصلاح‌کننده	۶	۱۱۱/۳**	۹۹/۳۲**	۹۳/۸۵**	۱۱۲**	۸۸/۴۴**
زمان انکوباسیون	۲	۱/۱۱۸ns	۱/۱۸۸ns	۱/۳۰۴ns	۰/۷۵۴ns	۰/۸۸۹ns
اصلاح‌کننده*زمان انکوباسیون	۱۲	۰/۲۰۰ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۱۳۸ns	۰/۰۲۲ns
تکرار	۲	۰/۰۲۲ns	۰/۳۲۲ns	۱/۹۳۸*	۰/۵۸۰ns	۰/۵۸۱ns
خطا	۴۰	۰/۵۵۰	۰/۶۲۳	۰/۳۹۰	۰/۴۹۰	۰/۳۱۳

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح کننده بر درصد رطوبت وزنی خاک در مکش‌های مختلف

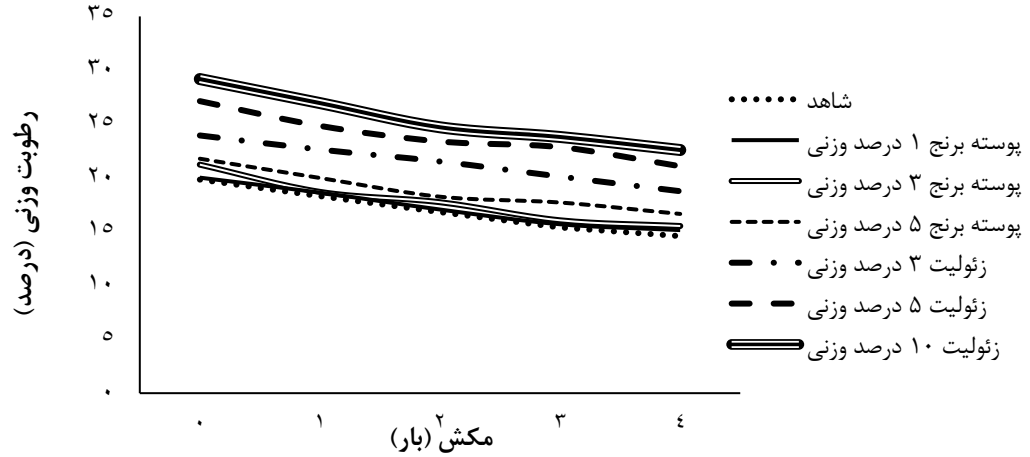
تیمار	رطوبت وزنی خاک(درصد)				
	مکش ۰/۳ (بار)	مکش ۱ (بار)	مکش ۲ (بار)	مکش ۳ (بار)	مکش ٤ (بار)
شاهد	۱۹/۴۸e	۱۸/۳۱e	۱۶/۸۳e	۱۵/۳۹e	۱۴/۵۹f
پوسته برنج ۱ درصد وزنی	۲۰/۰۲e	۱۸/۶۳e	۱۷/۰۶e	۱۵/۶۹e	۱۵/۱۵e
پوسته برنج ۳ درصد وزنی	۲۱/۲۳d	۱۸/۷e	۱۷/۷۴d	۱۶/۰۶e	۱۵/۵۳e
پوسته برنج ۵ درصد وزنی	۲۱/۷۸d	۱۹/۹۹d	۱۸/۲۵d	۱۷/۷۱d	۱۶/۶۵d
زئولیت ۳ درصد وزنی	۲۳/۹۴c	۲۲/۶۳c	۲۱/۵۲c	۲۰/۱۲c	۱۸/۷۶c
زئولیت ۵ درصد وزنی	۲۷/۱۳b	۲۴/۸۳b	۲۳/۳۸b	۲۲/۸۵b	۲۱/۰۸b
زئولیت ۱۰ درصد وزنی	۲۹/۱۸a	۲۶/۹۵a	۲۴/۷a	۲۳/۸a	۲۲/۵۹a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

تغییرات درصد رطوبت وزنی در مکش‌های مختلف به‌دنبال کاربرد مواد اصلاحی در شکل ۵ نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات درصد رطوبت وزنی در هر مکش با افزایش سطح کاربرد اصلاح کننده‌ها افزایشی است. به‌طوری‌که مقدار رطوبت وزنی در هر مکش در سطوح مختلف کاربرد پوسته برنج یا زئولیت نسبت به شاهد افزایش یافته است. در مکش‌های مختلف، بیشترین رطوبت وزنی خاک در

تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت مشاهده شد که با تیمار ۵ درصد وزنی پوسته برنج تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین رطوبت وزنی خاک در تیمار شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده) و در مکش ۴ بار مشاهده شد. با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت به ترتیب زئولیت ۱۰ درصد، ۵ درصد و ۳ درصد و پوسته برنج ۵ درصد، ۳ درصد و یک درصد تأثیر بیشتری در افزایش رطوبت خاک در تمام مکش‌ها داشتند هر چند شکل منحنی تغییر زیادی نسبت به تیمار شاهد نشان نمی‌دهد. عدم وجود تفاوت در مکش‌های مختلف برای هر سه سطح زئولیت و هر سه سطح پوسته برنج مورد استفاده نشان می‌دهد در بین سه سطح مورد آزمایش، افزودن کمترین مقدار اصلاح کننده به خاک برای بهبود شرایط رطوبتی کفایت می‌کند.

در گزارشی Razmi and Sepaskhah. (2012) ، بیان کردند، زئولیت اضلفه شده به مقدار ۸ گرم در کیلوگرم سبب افزایش هدایت هیدرولیکی خاک شد. در پژوهش Kamran zadeh *et al.* (2013) ، پس از گذشت ۶ ماه از کاربرد بقایای گیاهی، پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت اشباع و رطوبت در مکش‌های مختلف تعیین شد. نتایج افزایش معنی‌دار شیب منحنی‌های رطوبتی را نشان داد که بیانگر افزایش منافذ درشت و ریز خاک و همچنین افزایش نگه‌داشت رطوبت خاک شده است. در آزمایش Lu *et al* (2014) بایوچار حاصل از شلتوک برنج را در سطوح صفر، ۲ و ۶ درصد وزنی به یک خاک رسی افزودند و به مدت ۱۸۰ روز خواباندند، نتایج نشان داد که در نمونه‌های حاوی بایوچار در مقایسه با تیمار شاهد، ظرفیت نگهداری رطوبت به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند. در آزمایش Nowroozi et al (2016) علی رغم زمان کوتاه آزمایش (۲ ماه)، نتایج نشان داد که ماده اصلاح‌کننده آلی (بایوچار برگ خرما)باعث بهبود معنی‌دار شرایط رطوبتی خاک گردید، به طوری‌که میزان رطوبت در وضعیت‌های WHC[۱]و FC[۲] و PAWC[۳]به ترتیب به میزان ۲۴/۴ و ۲۴ و ۲۰/۱ درصد افزایش پیدا کرد. زئولیت در خاک‌هایی با بافت سنگین، توانایی افزایش هدایت هیدرولیکی را داشته، درحالی‌که در خاک‌های با بافت سبک، می‌توانند هدایت هیدرولیکی را کاهش دهند Nakhli *et al.* (2017) و Taghdisi Heydarian *et al.* (2018).



شکل ۵. مقایسه منحنی رطوبتی خاک با کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی

در تحقیقات Taghdisi Heydarian *et al.* (2018) ، مقایسه میانگین اثر زئولیت بر درصد رطوبت اشباع نشان داد که افزایش سطح زئولیت سبب افزایش درصد رطوبت اشباع شد. میزان رطوبت وزنی با کاهش قطر ذرات افزایش یافته که علت آن افزایش منافذ ریز است که با افزایش منافذ ریز رطوبت اشباع خاک نیز افزایش می‌یابد. باتوجه به این که خاک‌های سبک توانایی ذخیره و نگهداری رطوبت کمی دارند اضافه کردن سوپرجاذب (زئولیت) به خاک علاوه بر این که ظرفیت نگهداری آب در این خاک‌ها را افزایش می‌دهد از میزان تبخیر آب در خاک کاسته می‌شود. در آزمایش Jami *et al.* (2018) نتایج نشان داد که در هر دو سال آزمایش بهره‌وری آب به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کود آلی و زئولیت قرار گرفت. به طوری‌که بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود آلی همراه با ۱۰ تن زئولیت در هکتار حاصل شد. در پژوهشی Ghazavi *et al.* (2019) نشان دادند که اضافه کردن زئولیت، در سطوح مختلف باعث افزایش رطوبت وزنی و نگهداشت رطوبت در خاک‌ها می‌شود و هرچه سطح مصرف افزایش یابد، رطوبت وزنی و نگهداشت رطوبت در خاک‌ها نیز افزایش

۱- WHC= ظرفیت نگهداری رطوبت

۲- FC= رطوبت ظرفیت مزرعه

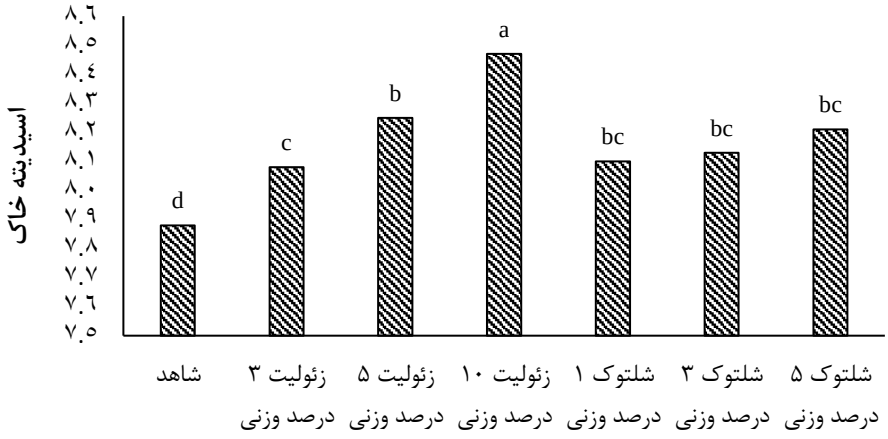
۳- PAWC= آب قابل دسترس گیاه

می‌یابد. نتایج آزمایش Amani Dashtaki, *et al*. (2021) نیز با نتایج این پژوهش همخوانی داشت، کاربرد اصلاح کننده زئولیت به طور معنی‌داری باعث نگهداشت بیشتر رطوبت خاک در هر مکش نسبت به تیمار شاهد شد.

اسیدیته خاک

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۲)، اثر اصلی اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر اسیدیته خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد در حالیکه اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید. با توجه به مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح کننده بر اسیدیته خاک (شکل۶)، کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) سبب افزایش معنی‌دار اسیدیته خاک نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده) گردیده است. بیشترین میزان اسیدیته خاک در تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به مقدار ۸/۴۷ مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۷/۴۸ درصد افزایش معنی‌دار داشته است.

در رابطه با افزایش اسیدیته خاک توسط زئولیت می‌توان به بالا بودن pH (۶/۸۵) در ساختار این ماده (زئولیت) اشاره کرد. زئولیت دارای اسیدیته بالایی در ساختار خود بوده و طبیعی است که وجود آن در خاک سبب افزایش اسیدیته خاک گردد. همچنین به علت بالا بودن مقدار آهک در خاک‌های منطقه و خاصییت بافری خاک و وجود فلزات قلیایی پوسته برنج، اضافه نمودن آن، باعث افزایش اسیدیته خاک می‌شود.

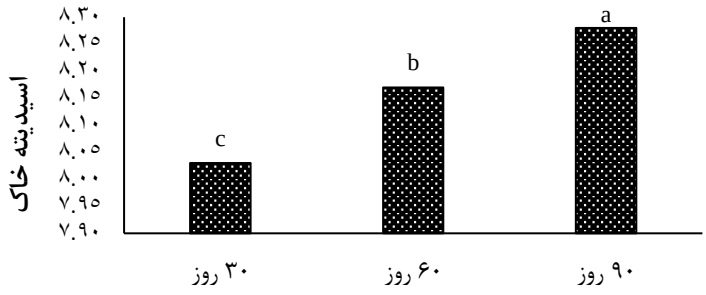


شکل ٦. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر اسیدیته خاک

زئولیت‌های طبیعی از نظر pH به مقدار جزئی قلیایی هستند که می‌توانند سبب تغییرات در pH خاک شوند. در تحقیقی Mohammadi Torkashvand *et al*. (2012) بیان کردند که با کاهش مقدار زئولیت (۱۰ درصد)، اسیدیته خاک کاهش یافته است و بیشترین مقدار اسیدیته در کاربرد زئولیت به میزان ۵۰ درصد مشاهده شده است. Perez-Caballero *et al*. (2008) بیان کردند که افزودن زئولیت سبب کاهش اسیدیته خاک می‌شود.

در پژوهش Aslani *et al*. (2021) ، با افزایش مقدار زئولیت، اسیدیته نیز افزایش می‌یابد زیرا زئولیت به‌عنوان یک بهساز کمی قلیایی شناخته شده است و این یکی از دلایلی است که وقتی همراه با کود آلی استفاده می‌شود به بافر کردن اسیدیته خاک کمک می‌کند. در حالی که در آزمایش Abdollahi garekand *et al*. (2019) ، بقایای گیاهی طی فرایند تجزیه با آزادسازی اسیدهای آلی و تحریک فرایند نیتریفیکاسیون (معدنی شدن نیتروژن) سبب افزایش یون H شده و باعث کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک می‌شود.

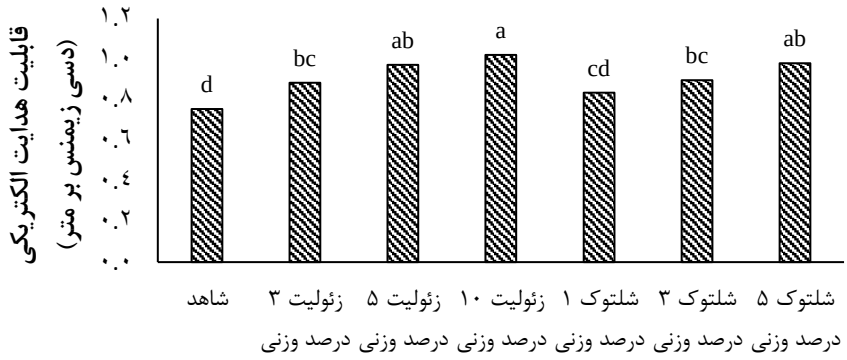
با افزایش مدت زمان انکوباسیون، مقدار اسیدیته خاک روند افزایشی یافته است. با توجه به شکل۷، مقدار اسیدیته خاک در زمان ۶۰ و ۹۰ روز انکوباسیون نسبت به شاهد (۳۰ روز) به ترتیب به میزان ۱/۷۴ و ۳/۱۱ درصد افزایش معنی‌دار داشته است.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر اصلی زمان بر اسیدیته خاک

قابلیت هدایت الکتریکی

نتایج حاکی از آن است که اثر اصلی اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر هدایت الکتریکی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول۲) در حالی‌که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح کننده بر قابلیت هدایت الکتریکی در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به مقایسه میانگین انجام گرفته، کاربرد اصلاح‌کننده‌ها (پوسته برنج و زئولیت) سبب افزایش معنی‌دار میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده است.

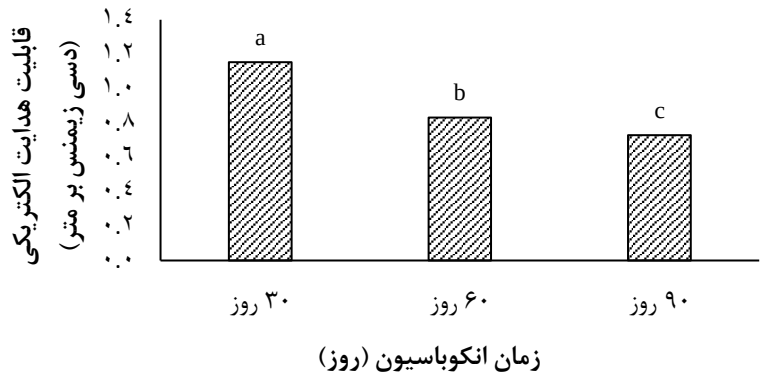


شکل ۸. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح کننده بر قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)

در بین سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌ها، سطح ۱۰ درصد وزنی زئولیت بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که این میزان نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف اصلاح‌کننده) افزایش ۳۵/۲ درصدی داشته است. این سطح از نظر آماری با سطح ۵ درصد وزنی زئولیت و ۵ درصد وزنی پوسته برنج تفاوت معنی‌داری ندارد. از آنجا که زئولیت‌ها به دلیل سطح ویژه بالا و محبوس کردن کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ساختار بلورین خود حاوی مقادیر قابل‌توجهی از املاح هستند، در محیط خاک قادر به آزادسازی یون‌ها در محلول خاک و محیط ریشه می‌باشند. لذا افزودن آن‌ها به محیط خاک سبب افزایش هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک گردیده است. Ekhtiari, S. Safadoust, A. (2017) گزارش کردند کاربرد زئولیت پتاسیمی (کلینوپتیلولیت) سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش در خاک لومی گردید که با نتایج Aslani *et al.* (2021) مطابقت داشت همچنین بیان کردند به علت CEC بالا در ساختار زئولیت می‌تواند نمک‌های مختلف را جذب یا دفع کند بنابراین دفع نمک‌ها از ساختار زئولیت می‌تواند عامل افزایش شوری در خاک باشد. Basari *et al.* (2013) با بدست آوردن نتایج مشابه، گزارش کردند که با به کاربردن زئولیت، بخشی از افزایش شوری خاک به دلیل رهاسازی یون سدیم توسط این کانی می‌باشد. در تحقیق Abdollahi garekand *et al.*(2019) ، کاربرد بقایای گیاهی باعث افزایش معنی‌دار EC شد. در آزمایشی Khodarahmi *et al.* (2018) ، نشان دادند با افزایش کود آلی (بیوچار) به خاک، هدایت الکتریکی (۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد) افزایش یافت. Kabirinejad *et al.* (2014) افزایش شوری خاک را با معدنی شدن ماده آلی در خاک نشان داد.

با افزایش زمان انکوباسیون، میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک کاهش یافته است. بطوریکه در دوره انکوباسیون ۶۰ و ۹۰ روز، میزان قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به شاهد (۳۰ روز) به ترتیب به میزان ۲۷/۹۸ و ۳۶/۹۱ درصد کاهش معنی‌دار داشته است. افزایش نسبی قابلیت هدایت الکتریکی در ماه اول پس از کاربرد پوسته برنج را می‌توان به تجزیه سریع بخش‌های قابل تجزیه این مواد در زمان‌های

اولیه و وجود نمک‌های محلول در پوسته برنج بیان کرد و همچنین کاهش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک را در ماه‌های آخر می‌توان به جذب سطحی نمک توسط اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به‌کار رفته نسبت داد (شکل۹).



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر اصلی زمان انکوباسیون بر قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)

نیتروژن کل خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل مقدار و نوع اصلاح‌کننده‌ها بر نیتروژن کل خاک در جدول ۲ آورده شده است که در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر نیتروژن کل خاک در شکل ۱۰ نشان داده شده است. کاربرد اصلاح‌کننده های آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن کل خاک نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی پوسته برنج، غلظت نیتروژن کل خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۱۷/۷، ۳۲/۲ و ۳۸/۵ درصد افزایش داد. همچنین کاربرد ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزنی زئولیت، غلظت نیتروژن کل خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۷/۲۹، ۱۹/۷ و ۲۵ درصد افزایش داد. به‌طور کلی بیشترین غلظت نیتروژن کل خاک با کاربرد ۵ درصد وزنی پوسته برنج به مقدار ۰/۱۳۳ درصد بدست آمد.

شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر نیتروژن کل خاک (درصد)

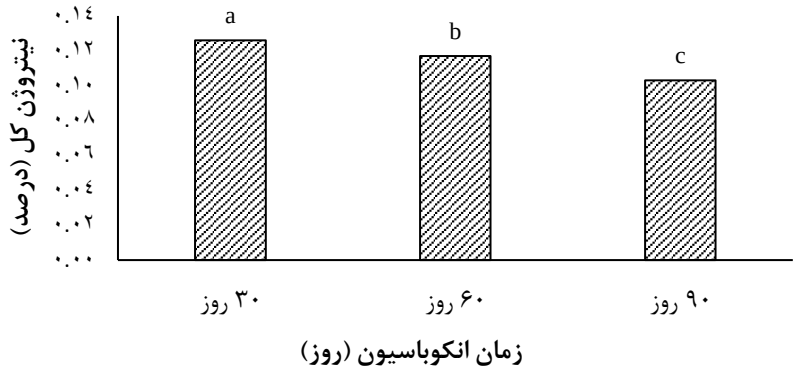
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

افزایش نیتروژن خاک احتمالا ناشی از وجود نیتروژن در ساختار پوسته برنج است.. مصرف کودهای آلی علاوه بر افزایش مواد آلی خاک، منجر به افزایش محتوی عناصر غذایی خاک بویژه نیتروژن می‌شود اساسا نیتروژن کل خاک با مصرف کودهای آلی و عملیات مدیریتی زیستی افزایش می‌یابد (Drinkwater *et al.*, 1995). همچنین مشخص شده که کودهای آلی موجب تحریک تثبیت نیتروژن در

خاک شده که ممکن است موجب افـزایش نیتروژن خـاک شـوند (Ladha *et al*., 1989). Gholamhosseini *et al*, (2013) گزارش نمودند که زئولیت به دلیل خصوصیات منحصـر بـه فـرد شـیمیایی و سـاختمانی آن، بـا جلـوگیری از آبشویی نیتروژن، باعث افزایش محتوای نیتروژن خـاک، جـذب بیشتر آن توسط گیاه و افزایش کارایی نهاده‌ها می‌شود(Kavian *et al*. (2018 . گزارش کردند کاربرد مقادیر ۳۰ و ۴۵ گرم زئولیت بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب سبب افزایش میانگین نیتروژن کل خاک به میزان ۴۲ و ۲۸ درصد در مقایسه با شاهد شد. زئولیت با جذب یون آمونیوم، مانع تبدیل سریع آن به نیترات و در نتیجه سبب کاهش هدرروی نیتروژن می‌شود. کاهش آبشوئی نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت‌های طبیعی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است.

زئولیت می‌تواند به‌عنوان یک عامل کندرها برای آمونیوم و اوره عمل کند که این امر می‌تواند سبب کاهش نیتریفیکاسیون و به تبع آن، کاهش هدررفت نیتروژن از خاک شود و خطرات زیست محیطی ناشی از حضور نیتروژن در طبیعت را کاهش دهد. (Gholamhosseini *et al*, (2013 ، گزارش کردند که استفاده از تیمارهای زئولیت به مقدار ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد وزنی در ترکیب با کود آلی، آبشویی نیتروژن را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. در بررسی Kharrazi *et al*. (2012) ، با اعمال کودآلی به خاک، میزان کل کربن آلی و همچنین نسبت C/N در خاک، کاهش و میزان نیتروژن موجود در بستر با گذشت زمان افزایش یافت که این افزایش به حضور کرم‌های خاکی و ضایعات نیتروژنی ترشح شده، هورمون های محرک رشد و آنزیم‌های تولید شده از آن‌ها در خاک نسبت داده شد. Aslani *et al*. (2021) ، نیز با توجه به نتایج پژوهش خود دریافتند که با افزایش میزان زئولیت، مقدار نیتروژن کل خاک افزایش یافت همچنین سطح ویژه و CEC بالای زئولیت سبب می‌گردد توانایی خاک برای به دام انداختن و نگه‌داری عناصر غذایی همچون آمونیوم بیشتر شود.

با افزایش زمان انکوباسیون، میزان غلظت نیتروژن کل خاک کاهش یافت. بطوریکه در دوره انکوباسیون ۶۰ و ۹۰ روز، میزان این پارامتر نسبت به شاهد (۳۰ روز) به ترتیب به میزان ۷/۱۴ و ۱۸/۲۵ درصد کاهش معنی‌دار داشته است (شکل۱۱).



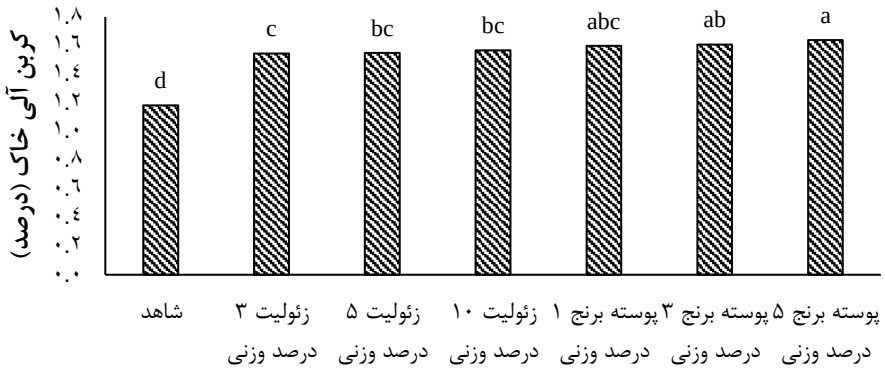
شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر اصلی زمان انکوباسیون بر نیتروژن کل خاک (درصد)

نیترات‌زدایی، آبـشویی، تثبیـت به وسیله کانی‌هـای خـاک و در نهایـت تـصاعد از مهم‌تـرین مکانیسم‌هایی هستند که موجب هدر رفت نیتروژن می‌شوند. از آن‌جا که در این تحقیق، از آغاز تا پایان آزمایش رطوبت گلدان‌ها در حـدود ظرفیت زراعی نگه‌داری شـد، بنابراین آبشویی نمی‌تواند عاملی برای کاهش مقدار نیتروژن باشد و لیکن نیترات‌زدایی و از همه مهم تر تصعید نیتروژن از سطح گلدان‌ها می‌توانند عواملی برای کاهش مقدار نیتروژن کل در طول دوره انکوباسیون باشند. (Nielsen, 2006). با گذشت زمان از هدر رفت نیتروژن به صورت تصاعد کاسته شده و تبدیل نیتروژن آلی در مراحل انتهایی انکوباسیون به نیتروژن نیتراتی می‌تواند عاملی برای کاهش مقدار نیتروژن کل با گذشت زمان باشد. از آن‌جا که مقدار نیتروژن نیتراتی در اندازه‌گیری نیتروژن کل لحاظ نمی‌شود بنابراین از مقدار نیتروژن کل با گذشت زمان کاسته شده است (Sanchez-Monedero *et al*., 2001).

کربن آلی

با توجه به (جدول ۲)، اثرات اصلی اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بر کربن آلی خاک معنی‌دار شده است درحالی‌که اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد. طبق نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر کربن آلی خاک (شکل۱۲)، کاربرد اصلاح‌کننده‌ها (پوسته برنج و زئولیت) سبب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شده است. در بین سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌ها، سطح ۵ درصد وزنی پوسته برنج بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که این میزان نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف اصلاح‌کننده)

افزایش ۵۴/۹۲ درصدی داشته است. این سطح از نظر آماری با سطوح دیگر اصلاح‌کننده‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت.



شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر کربن آلی خاک (درصد)

تأثیر بیشتر اثرات اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی در افزایش درصد کربن آلی خاک را می‌توان به بالاتر بودن کربن آلی کود مصرفی نسبت داد. (Hampton *et al*., 2002) و (Eghball *et al*., 2004) نیز افزایش درصد کربن آلی خاک را در نتیجه اثرات باقی‌مانده کمپوست و کود گاوی گزارش کردند که مشابه نتایج در این تحقیق است. تجزیه مواد آلی در خاک از یک‌سو سبب تولید هوموس و از سوی دیگر موجب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و ترشحات آنها می‌شود. (Talger *et al*.,2009) نشان دادند که برگشت گیاهان سبز در خاک باعث افزایش کربن و ماده آلی خاک شد که در پی آن فرآیندهای میکروبیولوژیکی حاصل‌خیزی خاک افزایش یافته و میزان آزادسازی عناصر غذایی قابل استفاده گیاه افزایش یافت. بر اساس نتایج (Salehi *et al*.,2011) افزودن بقایای کاه و کلش گندم به خاک در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش معنی‌دار میزان کربن و ماده آلی خاک شده است.

زئولیت نیز به‌دلیل قابلیت تبادل کاتیونی بالا و ساختمان متخلخل آن، علاوه بر اینکه شرایط تهویه برای فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی را فراهم می‌کند، باعث جذب مواد مغذی مواد آلی خاک مخصوصا نیتروژن آن شده (Gholamhoseini *et al*., 2013) و به نظر می‌رسد که به همین علت باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی و به تبع آن افزایش کربن آلی خاک می‌شود. Jami *et al*. (2018) گزارش کردند کاربرد زئولیت ۵ و ۱۰ تن در هکتار سبب افزایش میزان کربن آلی خاک گردید. تأثیر بیشتر اثرات اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی در افزایش درصد کربن آلی خاک را می‌توان به بالاتر بودن کربن آلی مواد مصرفی نسبت داد.

طبق نتایج Abdollahi garekand *et al*. (2019) ، تیمارهایی که بقایای گیاهی دریافت نمودند از نظر کربن آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی داری داشتند، به طوری‌که بقایای گیاهی که سرعت تجزیه کمتری دارند می‌توانند ماده آلی خاک را نسبت به بقایای با سرعت تجزیه بیشتر، افزایش دهند، زیرا بقایای گیاهی با سرعت تجزیه کمتر به ذخیره بیشتر کربن آلی در خاک کمک می‌کنند.

نتایج مطالعات گذشته نیز حاکی است که اضافه کردن کربن پسماند گیاهی به خاک با ماده آلی پایین همواره فعالیت تنفسی خاک را تحریک می‌کند و از سوی دیگر تجزیه پذیری پسماندهای مختلف گیاهی یکسان نیست. در آزمایش Raiesi and Aghababae (2011) که به تجزیه پذیری برخی پسماندهای گیاهی و پیامد کاربرد آن‌ها بر تنفس میکروبی پرداختند، دریافتند که پسماند برنج در بین تیمارهای غلات که دارای نسبت کربن به نیتروژن بالا و درصد نیتروژن پایین می‌باشد، کربن بیشتری را در طی دوره آزمایش به شکل معدنی تبدیل کرده است.

با توجه به نتایج، با گذشت زمان، کربن آلی خاک روند نزولی داشت. کربن آلی خاک در زمان ۶۰ و ۹۰ روز انکوباسیون نسبت به شاهد (۳۰ روز) به ترتیب به میزان ۱/۲۲ و ۴/۱۱ درصد کاهش معنی‌دار داشته است. هر چند بین زمان ۳۰ و ۶۰ روز از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. دلیل این کاهش احتمالا تجزیه بخش بیشتری از ماده آلی (پوسته برنج) توسط ریز جانداران خاک در زمان‌های طولانی‌تر خوابانیدن می‌باشد.

شکل ۱۳. مقایسه میانگین اثر اصلی زمان انکوباسیون بر کربن آلی خاک (درصد)

نسبت کربن به نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) نشان داد که اثرات اصلی سطوح اصلاح‌کننده‌ها و زمان انکوباسیون بر نسبت کربن به نیتروژن خاک در سطح یک درصد معنی‌دار گردیده است.با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح کننده بر نسبت کربن به نیتروژن (شکل۱۴)، بیشترین نسبت کربن به نیتروژن در سطح ۱۰ درصد وزنی زئولیت به میزان ۱۵/۱۷ مشاهده شد که با تیمار ۱ درصد وزنی پوسته برنج تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین نسبت کربن به نیتروژن در تیمار شاهد وجود داشت. در مورد نسبت کربن به نیتروژن باید گفت هرگاه این نسبت کمتر از ۲۰ باشد نشانگر افزایش معدنی‌شدن نیتروژن نسبت به آلی شدن آن است که در این حالت رقابت کمی بین گیاهان آلی و میکروارگانیسم‌های خاک جهت دریافت نیتروژن صورت می‌گیرد. هرگاه این نسبت بیش از ۳۰ باشد عکس این مطالب صادق است. میکروارگانیسم‌های خاک در تجزیه مواد آلی کاملا موثر بوده و فعالیت آن‌ها به عوامل گوناگونی چون محتوی عناصر غذایی خاک بستگی دارد.

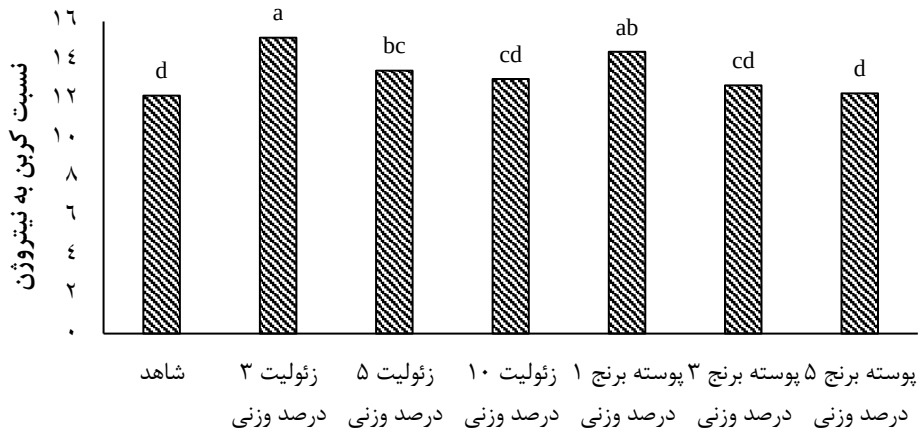
با افزایش زمان انکوباسیون، میزان نسبت کربن به نیتروژن خاک افزایش یافت. به طوری‌که در دوره انکوباسیون ۶۰ و ۹۰ روز، میزان این صفت نسبت به شاهد (۳۰ روز) به ترتیب به میزان ۷/۰۴ و ۱۷/۳۲ درصد افزایش معنی‌دار داشته است. هر چه نسبت کربن به نیتروژن کمتر باشد، تجزیه مواد آلی سریع‌تر اتفاق می‌افتد. از آن‌جایی که میزان کربن آلی با گذشت زمان کاهش پیدا کرد در نتیجه نسبت کربن به نیتروژن افزایش یافت (شکل۱۵).

نسبت کربن به نیتروژن نقش مهمی در تولید محصول، کیفیت خاک از نظر تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از قبیل نگهداری آب خاک، سیکل مواد غذایی، جریان گاز و رشد ریشه گیاه در سیستم‌های کشاورزی پایدار دارد Pouryousef *et al.* (2010).

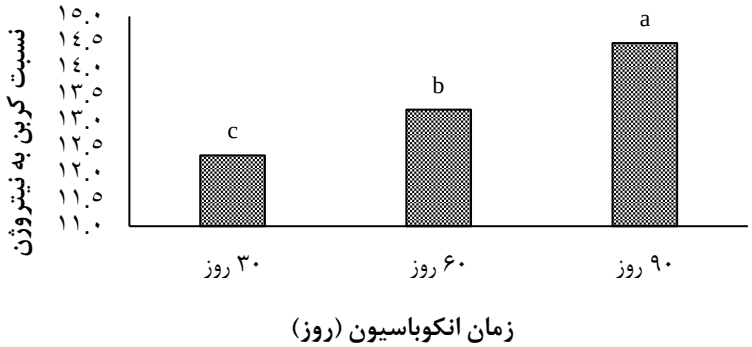
تجزیه مواد آلی به وسیله کرم‌های خاکی ومیکروارگانیسم‌ها و تبدیل کربن آلی به گاز دی اکسید کربن و خروج آن از بستر، در کاهش نسبت C/N نقش داشت Kharrazi *et al.* (2012).

Kabirinejad *et al.* (2014) معتقدند در افزایش مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی، نسبت C/N نقش مهمی را ایفا می‌کند، به طوری‌که بقایای گیاهی با کمترین نسبت C/N ، بیشترین اثر را در افزایش فرم قابل استفاده عناصر غذایی به دلیل حداکثر اثر این بقایا در کاهش اسیدیته خاک دارد.

یکی از عوامل تاثیرگذار در نسبت C/N خاک، اضافه نمودن ورودی کربن از طریق کودهای آلی به تنهایی یا ترکیب با کودهای معدنی است Jokubauskaite *et al.* (2015).



شکل ۱۴. مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر نسبت کربن به نیتروژن



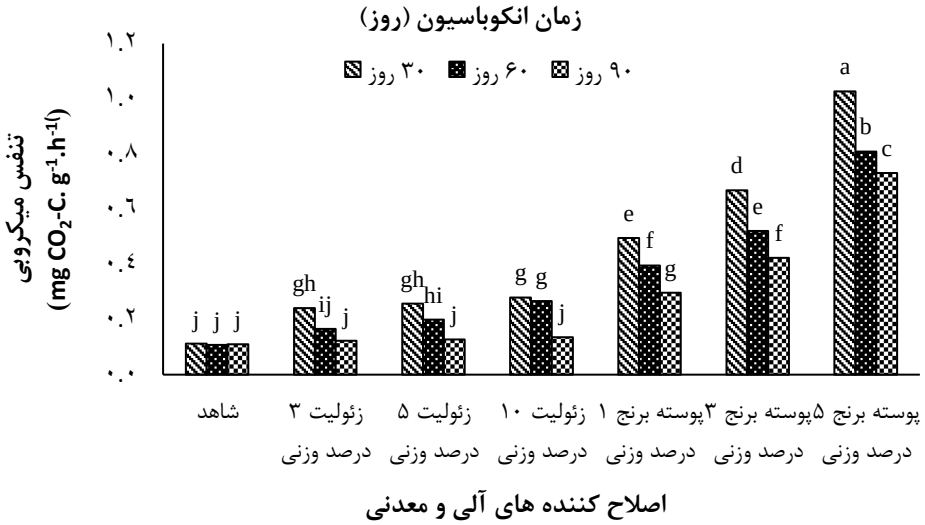
شکل ۱۵. مقایسه میانگین اثر اصلی زمان انکوباسیون بر نسبت کربن به نیتروژن

در اغلب پژوهش‌های انجام گرفته، افزایش مقدار کربن آلی خاک با افزودن بقایای گیاهی، به کیفیت یقایای گیاهی (C/N) بستگی داشته است، به طوری‌که بقایای گیاهی با C/N بالا نقش بیشتری در انباشت کربن به مدت طولانی‌تری دارند Abdollahi garekand *et al.*(2019).

تنفس میکروبی

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثرات اصلی و متقابل اصلاح‌کننده‌ها و زمان انکوباسیون بر تنفس میکروبی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول۲). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر تنفس میکروبی خاک (شکل۱۶)، کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی (پوسته برنج و زئولیت) سبب افزایش تنفس میکروبی خاک گردید. همچنین با گذشت زمان انکوباسیون تنفس میکروبی خاک کاهش یافت، این روند کاهشی به دلیل وجود کربن قابل استفاده زیاد در ابتدای انکوباسیون و تحریک باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های دیگر برای استفاده و معدنی کردن آن باشد و با ادامه انکوباسیون از مقدار مواد کربنی قابل استفاده کاسته شده و مقدار نسبی مواد کربنی مقاوم زیادتر می‌شود و درنتیجه تنفس خاک هم کاعش می‌یابد. بیشترین میزان تنفس میکروبی خاک، در سطح ۵ درصد وزنی پوسته برنج و در زمان انکوباسیون ۳۰ روز مشاهده شد. همچنین کمترین تنفس میکروبی خاک در تیمار عدم کاربرد اصلاح‌کننده و در دوره انکوباسیون ۹۰ روز مشاهده گردید. در حالی‌که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت.

تنفس خاک بخش وسیعی از میزان تولید اولیه ناخالص در اکوسیستم‌های خشکی را تشکیل می‌دهد که ارزیابی و اندازه‌گیری آن اهمیت زیادی در برقراری بودجه بندی کربن اکوسیستم دارد. تنفس میکروبی خاک تحت تأثیر رطوبت خاک، دما، قابلیت دسترسی عناصر غذایی وساختمان خاک قرار دارد (Anderson, J.P.E, 1982)



شکل ۱۶. مقایسه میانگین اثر متقابل اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون بر تنفس میکروبی خاک ($mg\ CO_2\text{-}C.\ g^{-1}.h^{-1}$)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند. افزودن بقایای گیاهی از طریق افزایش ماده آلی و بیشتر شدن تعداد ریزجانداران بومی خاک سبب افزایش فعالیت تنفسی ریزجانداران خاک می‌شود (Heidari *et al*, 2013). در تحقیق (Rezaie and Raiesi, 2015) نیز نتایج نشان داد که به علت جذب رطوبت بیشتر توسط اصلاح‌کننده‌های مصنوعی (سوپرجاذب A200 و A300) نسبت به اصلاح‌کننده‌های طبیعی (کوکوپیت و خاک اره) اثر معنی‌داری بر تنفس میکروبی خاک داشت. در آزمایش Sadeghi *et al*. (2022) بیان کردند تنفس میکروبی در خاک‌های تیمار شده با کاه گندم همواره بیشتر از خاک بدون آن بود و دلیل آن می‌تواند فراهمی ترکیب‌های آسان تجزیه‌شونده در بقایای گیاه گندم باشد. احتمالا این بقایای گیاهی به دلیل دارا بودن کربن آلی قابل جذب فراوان و عناصر غذایی بالا فعالیت میکروبی را تحریک و موجب تولید بیشتر دی‌اکسید کربن شده‌اند. با افزایش زمان انکوباسیون میزان تنفس میکروبی کاهش یافت که می‌تواند به این دلیل باشد که با گذشت زمان، کربن آلی خاک کاهش یافته و کمبود مواد آلی را برای ریزجانداران به همراه دارد و در نتیجه سبب کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تنفس میکروبی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش:

۱- اثر نوع و مقدار اصلاح‌کننده‌ها بر ویژگی‌های خاک: کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (پوسته برنج) و معدنی (زئولیت) نسبت به عدم کاربرد آن‌ها (تیمار شاهد) باعث بهبود میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، آب‌گریزی، رطوبت وزنی، کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن و تنفس میکروبی شد و با افزایش سطوح اصلاح‌کننده‌ها تغییرات ایجاد شده محسوس‌تر بود. البته اثر پوسته برنج بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، نیتروژن کل، کربن آلی و تنفس میکروبی خاک و همچنین کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک بیشتر از زئولیت بود اما، تأثیر مثبت زئولیت بر تخلخل، آب‌گریزی، رطوبت وزنی و نسبت کربن به نیتروژن بیشتر از پوسته برنج بود. بنابراین می‌توان گفت که کاربرد پوسته برنج و زئولیت اثر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و مقدار رطوبت خاک (درحد ظرفیت زراعی) و بهبود سایر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک دارد که این امر سبب افزایش مقاومت فیزیکی و بهتر شدن شرایط تغذیه‌ای خاک خواهد شد.

۲- اثر زمان بر ویژگی‌های خاک: با گذشت زمان، جرم مخصوص ظاهری افزایش و تخلخل خاک روند کاهشی داشت. به‌طوری‌که در زمان انکوباسیون ۳۰ روز بیشترین میزان تخلخل در خاک وجود داشت. با افزایش زمان انکوباسیون، مقدار واکنش خاک روند افزایشی یافته است. بیشترین میزان واکنش خاک در زمان انکوباسیون ۹۰ روز مشاهده شد.در حالی‌که مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک با افزایش زمان کاهش یافته است. با افزایش زمان انکوباسیون، مقدار غلظت نیتروژن کل خاک و کربن آلی خاک کاهش یافت. به طوری‌که در زمان ۹۰ روز انکوباسیون، کمترین مقدار آنها در خاک مشاهده گردید. در حالی‌که با افزایش زمان انکوباسیون، نسبت کربن به نیتروژن خاک روند

افزایشی داشت. نتایج نشان داد که با گذشت زمان انکوباسیون تنفس میکروبی خاک کاهش یافت. در نتیجه کاربرد مواد اصلاح کننده مذکور می‌تواند برای عملیات حفاظتی و تغذیه‌ای خاک در مناطق خشک و نیمه خشک موثر باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Aslani, P. Davari, M. Ali Mahmoodi, M. Hosseinpanahi, F and Khaleghpanah, N. (2021). Effect of Zeolite and Nitrogen on Some Basic Soil Properties and Wheat Yield in Potato-Wheat Rotation. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 44 (1).

Abdollahi garekand J., Sepehr E., Feiziasl3 V., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Samadi A. 2019. The Effect of Plant Residues Application on Improvement of Chemical Properties of Calcareous, Sodic and Saline-Sodic Soils. *Applied Soil Research*, 7(3):67-82.

Amani Dashtaki, E., Ghasemi, A. R., Nouri, M. R. & Motaghian, H. R. (2021). Effect of vermiculite, bentonite and zeolite on evaportation and soil characteristic moisture curve. Journal of Water and Soil Conservation. 28 (2): 83-101

Anderson, J.P., Page, A. L., Miller, R. H., and D. R. Keeney. 1982. "Soil respiration," pp. 831-871. In Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties *(Soil Science Society of America, Madison)*.

Anderson, J.P.E., 1982. Soil respiration, in: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, chemical and microbiological properties. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, PP.831-871.

Atashnama, K. Golchin, A. and Musavi Kupar S.A. (2017). Evaluation the soil water repellency in relation to tree species, soil organic carbon pools and aggregate stability (Case study: Shalman seed and seedling of forest tree species research station, Guilan province). *J. of Soil Management and Sustainable Production*, Vol. 7(1).

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.

Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density 1. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, *(methodsofsoilan1)*, 363-375.

Benkova, M., Rousseva, Sv., Raytchev, T., Sokolowska, Z. and Hajnos, M. 2005. Impact of different ameliorant on Aggregate staility in acid soil polluted with heavy metanls. P, 32-45.

Danielson, R. E., & Sutherland, P. L. (1986). Porosity. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, *(methodsofsoilan1)*, 443-461.

Das, R., A. R. Mandal, A. Priya, S. P. Das and J. Kabiraj. 2015. Evaluation of integrated nutrient management on the performance of bottle gourd (Lagenaria siceraria (Molina Standl)). J. Appl. Nat. Sci. 7(1): 18–25.

Dlapa, P., Doerr, S. H., Lichner, L., Sir, M., & Tesar, M. (2004). Effect of kaolinite and Ca-montmorillonite on the alleviation of soil water repellency. *Plant Soil and Environment*, 50(8), 358-363.

Drinkwater, L. E., Letourneau, D. K., Workneh, F. A. H. C., Van Bruggen, A. H. C., & Shennan, C. (1995). Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological applications*, 5(4), 1098-1112.

Eghball, B., Ginting, D., & Gilley, J. E. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Biological Systems Engineering*: Papers and Publications, 14.

Ekhtiari, S. Safadoust, A. (2017). The effect of zeolite on some physical and chemical properties of soil. *15th Iranian Congress of Soil Science*. Aut. Isfahan University of Technology. (In Farsi).

Enayati, K. Rousta, M. and Vakili, A. (2011). Study of the separate and simultaneous effect of organic and mineral matter on the size of the aggregates in a sodium saline soil with loam silt texture. Jornal of Agricultural Sciences and Technology of Natural Resources. *Water and Soil Science*. Summer. The year of 15(56). (In Farsi).

Farzadian, M. Hojati, S. Sayad, G.H. Enayati Zamir, N. (2015). Use of zeolite to reduce the hydrophobicity of a polluted soil to oil compounds. *J of Water and Soil Science.* Agricultural Sciences and Technology of Natural Resources. 72(19): 57-66. (In Farsi).

Fetton, G. K. (1995). Soil hydraulic properties on municipal Soil Waste. *Transe ASAE*. 38(3): 775-782.

Ghazavi, R., Omidvar, A & Jeyhouni Naini, H. (2019). Investigation of the effect of zeolite on the coefficients

of soil moisture curve models in sandy and loamy textures, *Journal of Soil and Water Sciences*. 23: 3 (In Persian)

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

Hampton, M., Obreza, T. A., and Stoffella, P. J. (2002). Residual effect of municipal solid waste compost on snap Beans production. University of Florida IFAS. *Indian River Research and Education Centre*.

Hardie, M., B. Clothier, S. Bound, G. Oliver, D. Close. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? Plant and Soil, 376: 347–361.

Heidari, O. (2020). *Association Cultivation and Trade*. Rice Husk and usage. Rice Knowledge Bank. irri.org. http://www. Soochella.ir. (In Farsi).

Heidari, F., RasulZadeh, A., SepasKhah, A., Asghari, A., and Ghavidel, A. 2013. The effect of management of plant remains on the physical and biological characteristics of soil and yield of corn fodder and barley. *Water and Soil 17* (65): 233-248.

Jami, M. Q., A. Ghalavand, S. A. M. Modarres-Sanavy, A. Mokhtassi Bidgoli, A. Baghbani- Arani and A. Namdari. Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (Helianthus annuus L.) (2018). *Journal of Crop Sciences.* 19(2): 151-167. (In Farsi).

Jokubauskaite, I., Slepetiene, A., and Karcauskiene, D. 2015. Influence of different fertilization on the dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in acid and limed soils. *Eurasian Journal of Soil Science* 4(2): 137-143.

Jordan, A., Zavala, L.M. and J. Gil . 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena Journal*, 81:77- 85.

Kabirinejad Sh., Kalbasi M., Khoshgoftarmanesh A.H., Hoodaji M., and Afyuni M. 2014. Effect of incorporation of crops residue into soil on some chemical properties of soil and bioavailability of Copper in soil. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2 (11): 2819-2824.

Kamran Zadeh, R. Dalalian, M and Hashemi Majd, K. (2013). The Effect of Compost, Vermicompost and Residu Wax Bean on Moisture Curve and Soil Hydrolic Conductivity in Field Conditions. *In First National Congress of the Agricultural Development of the Agricultural Model*. Hamedan.

Kavian, S. Moosavi, A. A. Bolhasani, Z. and Sharareh, S. (2018). Effect of Zeolite and Nitrogen Sources on Nitrogen Leaching from a Calcareous Soil under Ocimum basilicum Planting and Greenhouse Conditions. *J. of Soil research (Soil Science and Water).* Page 46-56. 32.(1). (In Farsi).

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution.

Kharrazi, M., Unesi, H., and Abedini, J. 2012. Effect of corn waste blended with cow dung and paper on vermicompost qualities using Eisenia fetida. *Agronomy Journal* (Pajouhesh & Sazandegi) 103: 179-191. (in Persian with English abstract).

Klut, A. (1986). Method of Soil Analysis: Physical, Chemical and Mineralogical Methods. Soil Sci. Soc. Am. *Madison, Wisconsin*, USA, Pp: 432-449.1986.

Ladha, J. K., Tirol-Padre, A., Punzalan, G. C., Garcia, M., & Watanabe, I. (1989). Effect of inorganic N and organic fertilizers on nitrogen-fixing (acetylene-reducing) activity associated with wetland rice plants. In Nitrogen fixation with non-legumes (pp. 263-272). *Springer, Dordrecht.*

Lal, R., Pierce, F.J. 1991. The vanishing resource. PP. 1-5. In Lal, R., Pierce, F. J.

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.

Lu, S. G., Sun, F. F. and Zong, Y. T. 2014. Effect of rice husk biochar and coalfly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena* 114: 37–44.

Mahrokh, A. Ghotbi, V. Azizi, F. Moghadam, A. and Gholamhosseeini, M. (2020). The Application of Natural Zeolite Away to Optimize the Usage of Input in Sustainable Agriculture. *Jornal of Scientific-Promotive Experimental Findings in Cultivative and Garden Plants*. 77-89:(1)8.

McKissock, I., Gilkes, R.J., and van Bronswijk, W. 2003. The relationship of soil water repellency to aliphatic C and kaolin measured using DRIFT. Austr. *J. Soil Res*. 41: 251-265.

Mohammadi Torkashvand, A., Karami, A., Mahboub khomami, A., & Shadparvar, V. (2012). Zeolite: an appropriate alternative to peat in the growth medium of ornamental plants. *Indian Jornal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(1), 127-132.

Mohammadzadeh, A., Mohsenifar, K., Fire Effect of Wheat and Sawdust on Soil Hydrophobicity Properties. (2019). *Scientific Jornal of Water Engineering*. 292-303(4)7. (In Farsi).

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.

Nargesi Alipour, N. Akhzari, D. and Fatahi, B. (2016). The study of interaction of usage of zeolite different levels and compost. *J of Environmental Protection of Plant*. 4(9). (In Farsi).

Nasimi, P. Karimi, A. and Gerami, Z. (2020). Long-Term Effects of Palm Leaf Biochar on the Porosity and Structure Stability of a Sandy Clay Loam Soil. *J of soil research (soil science and water).* Page 34(2). (In Farsi).

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis part 3—chemical methods, (*methodsofsoilan3*), 961-1010.

Nielsen, R. L. (2006, February). N loss mechanisms and nitrogen use efficiency. In Purdue nitrogen management workshops (pp. 1-5). West Lafayette, IN, USA: *Purdue University*

Nowroozi, M., Tabatabaei, S.H,. Nouri, M.R. and Motaghian, H.R. (2017). Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention in sandy loam soil. *Journal of Soil and Water Conservation.* Vol. 6, No. 2. (In Farsi).

O'Toole, A., C. Moni, S. Weldon, A. Schols, M. Carnol, B. Bosman and D.P. Rasse. 2018. Miscanthus biochar had limited effects on soil physical properties, microbial biomass, and grain yield in a four-year field experiment in Norway. *Agriculture*. 8(171):1-19.

Perez-Caballero, R., Gil, J., Benitez, C., & Gonzalez, J. L. (2008). The effect of adding zeolite to soils in order to improve the NK nutrition of olive trees, preliminary results. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 2(1), 321-324.

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M. R., Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Electronic Journal of Crop Production* 3: 193-213. (in Persian with English abstract).

Raiesi1, F., Aghababae, F. (2011). The Decomposability of Some Plant Residues and Their Susbsequent Influence

on Soil Microbial Respiration and Biomass, and Enzyme Activity. *Journal of Water and Soil.* Vol. 25, No.4, p. 863-873.

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.

Rezaie, R., Raiesi, F. The effect of moisture absorbent material on microbial respiration and microbial zince under drought stress. (2015). *Jornal of Soil Biology*. (3)2. (In Farsi).

Rousta, M. Enayati, K. and Vakili, A. (2010). In vitro study of effect of addition mineral and organic compounds on the average weight of aggregate diameter in a sodium saline soil. *J of soil research (soil science and water).* Page 24(3). (In Farsi).

Rhoades J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks et al., (Ed.) Methods of soil analysis. Part 3. *American Society of Agronomy.* Madison, WI. pp. 417- 436.

Sadeghi, A. Ghorbani Nasrabadi, R. Movahedi Naeini, A.R. (2022). The effect of enrichable wheat residus Streptomyces and urea on absorbable phosphorus and some of the soil microbial in vitro. *J of management and sustainable production*. 11(3): 139-158. (In Farsi).

Salehi, F. Bahrani, M.J. Kazemeini, A.R. Pakniat, H. Karimian, N.A. (2011). The effect of wheat residues and nitrogen fertilizer on some characteristics of the farm soil in bean agriculture. Journal of Agricultural Sciences and Technology of Natural Resources. *Water and Soil Science*. 15(55): 209-218. (In Farsi).

Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource technology*, 78(3), 301-308.

Shaddox, T. (2004). Investigation of soil amendments for use in golf course putting green construction. *University of Florida*.

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 Farsi).

Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L. et al., (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3. *American Society of Agronomy*. Madison. WI, pp. 475- 490.

Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., & Astover, A. (2009). The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Research, 7(1), 125-132.

Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O., and Mataix-Solera, J. 2013. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability? *Catena*. 110: 24-31.

Khodarahmi, Y. Boroomand Nasab, S. Soltani Mohammadi, A. And Nasseri, AA. (2019). Evaluation of Modified Biochar and Zeolite Effect on Some Physical and Chemical Properties of Loamy Soil. *Jornal of Protection of Water and Soil Resource.* (In Farsi).

Zangooei Nasab, SH. Emami, H. Astaraei, A. and Yari, A. (2012). Effect of diffrent amount of superficial adsorbent and irrigation period on some physical properties of soil and the ATRIPLEX plant growth index. *Jornal of Water Research in Agriculture*. 26(2), 211-224. (In Farsi).

Zhao, S., Li, K., Zhou, W., Qiu, S., Huang, S., & He, P. (2016). Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 82-88.