Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

Effect of double and triple composites prepared by zeolite-chitosan-biochar on some soil mechanical properties

Maryam Salahedin[*1], Farshad Kiani[2], Mojtaba Barani Motlagh[3], Elham Malekzadeh[4], Hamid Reza Asgari[5]

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: m.salahedin88@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: kiani@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mbarani2002@yahoo.com
4. Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: malekzadeh.elham@gmail.com
5. Associate Prof., Dept. of Desert Areas Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E mail: hras2010@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.07.2023
Revised: 01.18.2024
Accepted: 01.21.2024

Keywords:
Coefficient of linear
Consistency limit,
Double composite,
Extensibility,
Triple composite

ABSTRACT

Background and Objectives: So far, many methods have been used to improve the quality of the soil dynamic, depending on the desired goal (whether it is for crop cultivation and amendment of arable and agricultural soils or in terms of construction and increasing soil stability). One of the methods is the use of zeolite, chitosan and biochar modifiers separately. Biochar is carbon-rich and can have a favorable effect on the mechanical properties of the soil and increase soil stability. Zeolite is used as a physical soil modifier to increase Soil stability ventilation and improve the structure of sandy and clay soils. Chitosan, which is the most abundant biological polymer, has the potential to increase the interaction between soil particles and improve the soil's mechanical properties. Soils that are not suitable in terms of mechanical properties have low water infiltration rates, plant accessible moisture and low soil structure stability. So far, there have been no studies on the effect of the zeolite, chitosan and biochar composites on the soil dynamic properties. The purpose of this research is to investigate the effect of double and triple composites on some soil dynamic properties such as coefficient of linear extensibility (COLE), liquid limit (LL), plastic limit (PL) moistures and plasticity index (PL).

Materials and Methods: This research was conducted with a completely randomized design with two factors, soil type and composite type, in three replicates. In this research, double and triple composites were produced from zeolite, chitosan and rice husk biochar. Dual composites include zeolite-chitosan (ZC), zeolite-biochar (ZB), chitosan-biochar (CB) and triple composites include zeolite-chitosan-biochar (ZBC). Double composites ZC, CB and triple composite ZBC were synthesized using magnetic stirrer and acetic acid (5%), half molar sodium hydroxide and double composite ZB with ultrasonication and were prepared on a laboratory scale. The treatment period was incubated for three months with a field capacity moisture content of 65%. The mean comparison of the treatments was done with the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results: The results showed that the type of composites had a significant effect on the liquid limit, coefficient of linear extensibility, and plasticity index of the soil. The greatest effect was related to the ZBC triple composite. This composite increased the liquid limit by 42.8% compared to the control soil and caused a 58.8% decrease in the coefficient of linear extensibility compared to the control soil. It was also observed that the plasticity index of the soil decreased with the use of composites compared to the control soil, and its effect was more significant in the ZBC composite in both study soils (48.5-60%) than in other composites.

Conclusion: This research showed that double and triple composites can be used as suitable modifiers to improve the mechanical quality of the soil. Because with the increase of the liquid limit, moisture absorption and water retention in the soil increases. Also, increasing the coefficient of linear extensibility prevents the cracking of the soil. Also, the soil that has a lower plasticity index is less soil wasted. Therefore, based on the Results of this research, ZBC triple composite is recommended as the most effective combination for improving the physical and mechanical quality due to the increase in the liquid limit, decrease in the coefficient of linear extensibility of the soil, as well as the effect on the reduction of the plastic limit of both soil texture. It is also suggested to carry out additional studies using different levels of composites and comparing their effects on the mechanical properties of the soil.

Cite this article: Salahedin, Maryam, Kiani, Farshad, Barani Motlagh, Mojtaba, Malekzadeh, Elham, Asgari, Hamid Reza. 2024. Effect of double and triple composites prepared by zeolite-chitosan-biochar on some soil mechanical properties. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (2), 103-117.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21891.2124
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

تأثیر کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه تهیه شده از زئولیت–کیتوزان–بیوچار بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک

مریم صلاح‌الدین*[۱]، فرشاد کیانی[۲]، مجتبی بارانی‌مطلق[۳]، الهام ملک‌زاده[٤]، حمیدرضا عسگری[٥]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: m.salahedin88@gmail.com
۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: kiani@gau.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mbarani2002@yahoo.com
٤. استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاوزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: malekzadeh.elham@gmail.com
٥. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاوزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hras2010@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۸/۱٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۱/۰۱

واژه‌های کلیدی:
حدود پایایی،
ضریب انبساط و انقباض‌پذیری،
کامپوزیت دوگانه،
کامپوزیت سه‌گانه

چکیده

سابقه و هدف: تاکنون روش‌های بسیاری جهت بهبود کیفیت خاک از لحاظ مکانیکی، بسته به هدف موردنظر (چه برای کشت محصول و اصلاح خاک‌های زراعی و کشاورزی و چه از لحاظ ساخت و ساز و افزایش پایداری خاک) به‌کار گرفته شده است. یکی از روش‌های بهبود کیفیت خاک، کاربرد اصلاح‌کننده‌های زئولیت، کیتوزان و بیوچار به‌صورت جداگانه می‌باشد. بیوچار ماده‌ای غنی از کربن می‌باشد که می‌تواند اثر مطلوبی بر ویژگی‌های مکانیکی خاک داشته و باعث افزایش پایداری خاکدانه شود. زئولیت به‌عنوان اصلاح‌کننده فیزیکی خاک در افزایش پایداری خاکدانه، تهویه و بهبود ساختمان خاک‌های شنی و رسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کیتوزان که فراوان‌ترین پلیمر زیستی می‌باشد، دارای پتانسیل افزایش انسجام بین ذرات خاک بوده و منجر به بهبود ویژگی‌ها مکانیکی خاک می‌شود. خاک‌هایی که از لحاظ ویژگی‌های مکانیکی مناسب نباشند، سرعت نفوذ آب، رطوبت قابل‌دسترس گیاه و پایداری ساختمان خاک پایینی دارند. تاکنون مطالعاتی بر روی اثر کامپوزیت‌های زئولیت، کیتوزان و بیوچار روی ویژگی‌های مکانیکی خاک صورت نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه مذکور بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک مانند ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و حدود پایایی خاک شامل حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی، دو فاکتور نوع خاک و نوع کامپوزیت و در سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش از زئولیت، کیتوزان و

بیوچار شلتوک برنج کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه تولید شد. کامپوزیت‌های دوگانه شامل زئولیت-کیتوزان (ZC)، زئولیت-بیوچار (ZB)، کیتوزان-بیوچار (CB) و کامپوزیت سه‌گانه شامل زئولیت-بیوچار-کیتوزان (ZBC) بودند. کامپوزیت‌های دوگانه ZB، CB و کامپوزیت سه‌گانه ZBC با استفاده از همزن مغناطیسی، اسید استیک (۵٪) و سدیم هیدروکسید نیم مولار و کامپوزیت دوگانه ZC با اولتراسونیک سنتز و در مقیاس آزمایشگاهی تهیه شدند. مدت زمان اعمال تیمارها به‌مدت ۳ ماه در رطوبت ٦٥ درصد ظرفیت زراعی انکوباسیون شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نوع کامپوزیت‌ها اثر معنی‌داری بر حد روانی، ضریب انقباض و انبساط‌پذیری و شاخص خمیری خاک داشتند. بیش‌ترین تأثیر مربوط به کامپوزیت سه‌گانه ZBC بود. این کامپوزیت حد روانی را ٤٢/٨ درصد نسبت به خاک شاهد افزایش داد و باعث کاهش ۵۸/۸ درصدی ضریب انقباض و انبساط‌پذیری نسبت به خاک شاهد شد. هم‌چنین مشاهده شد که شاخص خمیری خاک با کاربرد کامپوزیت‌ها نسبت به خاک شاهد، کاهش یافت که اثر آن در تیمار کامپوزیت ZBC هر دو خاک مورد مطالعه (٤٨/٥-٦٠ درصد) بیش‌تر از سایر کامپوزیت‌ها بود.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد کاربرد کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه به‌عنوان اصلاح‌کننده‌هایی مناسب برای ارتقاء کیفیت مکانیکی خاک قابل استفاده می‌باشد. زیرا با افزایش حد روانی، جذب رطوبت و نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری، مانع ترک‌خوردگی خاک می‌گردد. همین‌طور خاکی که شاخص خمیرایی کم‌تری داشته باشد هدررفت خاک در آن کم‌تر اتفاق می‌افتد. بنابراین براساس یافته‌های این پژوهش، کامپوزیت سه‌گانه ZBC به‌دلیل افزایش حد روانی، کاهش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری خاک و هم‌چنین تأثیر بر کاهش حد خمیری هر دو بافت خاک مورد مطالعه به‌عنوان مؤثرترین ترکیب برای اصلاح کیفیت فیزیکی و مکانیکی خاک توصیه می‌شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود مطالعه‌های تکمیلی با کاربرد سطوح مختلف کامپوزیت و مقایسه تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی خاک انجام شود.

استناد: صلاح‌الدین، مریم، کیانی، فرشاد، بارانی‌مطلق، مجتبی، ملک‌زاده، الهام، عسگری، حمیدرضا (۱۴۰۳). تأثیر کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه تهیه شده از زئولیت-کیتوزان-بیوچار بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۴ (۲)، ۱۱۷-۱۰۳.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21891.2124

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

خاک‌های با کیفیت پایین غالباً نیازمند استفاده از فن‌آوری‌های مربوط به بهبود خاک برای اصلاح کیفیت خاک می‌باشند. این فن‌آوری‌ها ممکن است استفاده موقتی یا دائمی از تیمارهای مکانیکی، بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی باشند (۱ و ۲). اخیراً استفاده از اصلاح‌کننده‌های سازگار با محیط زیست بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند، زیرا تیمارهای شیمیایی ممکن است اثرهای مضری از خود به‌جای بگذارند. می‌توان این مشکل را با سه نوع تیمار دوست‌دار محیط زیست شامل زئولیت، کیتوزان و بیوچار برطرف کرد.

زئولیت‌ها دارای ساختمان کریستالی و کانال‌های بسیار ریز و درهمی هستند که روی سطح این کانال‌ها بار منفی وجود دارد و مانند آهن‌ربا همه مواد دارای بار مثبت را به خود جذب می‌کند. هم‌چنین از زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده که باعث آبگیری بالا، نگهداری آب، تنظیم pH و کاهش شوری خاک، تهویه مطلوب و تأمین اکسیژن و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک می‌شود، استفاده می‌کنند (۳). رجبی و اردکانی (۲۰۱۹) مطالعه تأثیر زئولیت از نوع کلینوپتیلولایت در پارامترهای مقاومتی خاک رس ماسه‌دار گزارش دادند که با به‌کار بردن درصدهای مختلف کلینوپتیلولایت برای تعیین حدود آتربرگ با افزایش میزان کلینوپتیلولایت، حد روانی و حد خمیری خاک افزایش می‌یابد (٤).

کیتوزان یک بیوپلیمر ارزان‌قیمت است که معمولاً از ضایعات سخت‌پوستان در صنایع غذایی به‌دست می‌آید (۵). در زمینه‌های ژئوتکنیکی و ژئومحیطی، کیتوزان به‌عنوان یک ماده مؤثر برای کاهش فرسایش خاک در طول آبیاری استفاده می‌شود (٦). استفاده از محلول کیتوزان سازگار با محیط زیست که از ضایعات پوسته میگو سنتز شده است، منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی خاک شده، و باعث افزایش تعامل بین ذرات خاک می‌شود (۷). شریعتمداری و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه تجربی اثر بیوپلیمر کیتوزان بر تثبیت خاک شنی دریافتند ترکیب کیتوزان پتانسیل افزایش انسجام بین ذرات و بهبود قابل‌توجه ویژگی‌ها مکانیکی خاک شنی را به همراه دارد. علاوه‌بر ویژگی‌های مکانیکی، اثر بیوپلیمر کیتوزان بر متصل شدن منافذ خاک شنی به‌شدت نفوذپذیر نیز مورد بررسی قرار گرفت (۸). هاتف و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی پایداری خاک با استفاده از بیوپلیمر کیتوزان نشان دادند که ترکیب کیتوزان دارای پتانسیل افزایش تعامل بین ذرات خاک می‌باشد که منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌شود و هم‌چنین میزان فعل و انفعال‌های بین ذرات به‌شدت به زمان و میزان رطوبت خاک بستگی دارد (۷).

بیوچار نیز به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد که به روش تجزیه گرمایی بایومس در شرایط اکسیژن پایین و دمای حدود ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه می‌شود (۹). در دهه‌های اخیر مطالعه‌های فراوانی درباره استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح کننده جهت بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های استوایی فرسوده، انجام شده است (۱۰ و ۱۱). نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود (۱۲). نقش بیوچار در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، به‌ویژه ظرفیت نگهداری آب خاک، به‌طور گسترده‌ای مورد بحث قرار گرفته است (۱۱ و ۱۳). نتایج مطالعه بهنام و همکاران (۲۰۱٦) روی تأثیر بایوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک نشان داد که تیمار بایوچار موجب افزایش شاخص خمیرایی خاک می‌گردد (۲). اسمیت و همکاران (۱۹۸۵) نشان دادند که ماده آلی باعث افزایش سطح ویژه خاک و در نتیجه افزایش نگهداری آب خاک و افزایش حد

خمیری خاک می‌شود. حدود خمیری با افزایش کربن آلی، افزایش می‌یابد (۱٤). با افزودن بیوچار به خاک، انسجام و زاویه اصطکاک داخلی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند و ویژگی‌های مقاومت فشاری خاک بهبود می‌یابد. با این‌حال، آثار بیوچار بر ویژگی‌های مکانیکی خاک، مانند حدود آتربرگ و مقاومت فشاری، تا حد زیادی نادیده گرفته شده است (۷).

برخی مناطق فاقد خاک مناسب از لحاظ مکانیکی می‌باشند. در این نوع خاک‌ها سرعت نفوذ آب، رطوبت قابل دسترس گیاه و پایداری ساختمان خاک پایین می‌باشد. بنابراین بررسی تأثیر چهار نوع اصلاح‌کننده شامل کامپوزیت‌های زئولیت-کیتوزان، زئولیت-بیوچار، کیتوزان-بیوچار و زئولیت-کیتوزان-بیوچار بر روی برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌تواند دارای اهمیت باشد. از طرفی تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثر کامپوزیت‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی خاک صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک شامل ضریب انبساط و انقباض‌پذیری، حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده مهندسی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. از دو منطقه مستعد فرسایش بادی شامل خلیج گرگان و حوضه اترک تعداد ۳۰ نمونه خاک به‌صورت تصادفی برداشت شد. نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری از منطقه خلیج گرگان در محدوده طول جغرافیایی ٥٤ دقیقه و ۰۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳٦ دقیقه و ٥۳ ثانیه و حوضه اترک (مراوه‌تپه) در محدوده طول جغرافیایی ٥٥ دقیقه و ٥٦ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ٤۹ ثانیه انجام شد. سپس به‌منظور انجام آزمایش‌های مکانیکی خاک یک نمونه مرکب برای هر منطقه در نظر گرفته شد. پس از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری نمونه‌های خاک، اسیدیته در عصاره گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با EC سنج، کربن آلی به روش والکلی بلک (۱٥)، نیتروژن کل با دستگاه کجلدال (۱٦) و بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷) اندازه‌گیری شد. بیوچار حاصل از شلتوک برنج به روش پیرولیز آهسته و در دمای ٥٥۰ درجه به روش اسپارویک و همکاران (۲۰۱۲) تولید شد (۱۸). زئولیت از شرکت کوه کبود واقع در شهر سمنان تهیه گردید. کیتوزان مدیوم از شرکت تمادکالا در شهر تهران خریداری شد. ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و نتایج تجزیه زئولیت، کیتوزان و بیوچار به‌ترتیب در جدول‌های ۲، ۳ و ٤ آمده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soils.

خاک Soil	اسیدیته pH (-)	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil Texture
خلیج گرگان Gorgan Gulf	6.4	141.78	2	0.11	35	50	15	لومی سیلتی Silt loam
حوضه اترک Atrak Basin	7.04	7.44	1.2	0.06	25	65	10	لومی سیلتی Silt loam

جدول ۲- نتایج تجزیه زئولیت مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Results of the zeolite analysis.

$\%SiO_2$	$\%Al_2O_3$	$\%Fe_2O_3$	%CaO	$\%Na_2O$	%MgO	$\%K_2O$
68.19	11.86	1.13	3.12	1.01	0.83	1.61

جدول ۳- نتایج تجزیه کیتوزان مورد استفاده در آزمایش.

Table 3. Results of the chitosan analysis.

استیلن Acetylene (%)	وزن مولکولی Molecular weight (kda)	اسیدیته pH (-)
88	20	5

جدول ٤- نتایج تجزیه بیوچار مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Results of biochar analysis.

گوگرد S (%)	هیدروژن H (%)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	هدایت الکتریکی EC ($mS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH (-)
0.68	2.8	1.44	40.35	2.45	7.8

برای تهیه کامپوزیت زئولیت-کیتوزان از ٤ گرم کیتوزان و ٤ گرم زئولیت در اسید استیک ۵ درصد و NaOH نیم مولار استفاده شد. تهیه کامپوزیت کیتوزان-بیوچار نیز به همین طریق اما با استفاد از ۱ گرم کیتوزان و ۲ گرم بیوچار تهیه شد (۱۹). سنتز کامپوزیت زئولیت-کیتوزان به روش اولتراسونیک و ٤ گرم زئولیت در ۲۰ گرم بیوچار انجام شد (۲۰). به‌منظور تهیه کامپوزیت زئولیت-کیتوزان-بیوچار، ۵ گرم کیتوزان، ۲ گرم زئولیت و ۵ گرم بیوچار به‌کار برده شد. این مواد در استیک اسید ۲/۵ درصد و در نهایت با NaOH نیم مولار تهیه شد. نتایج تجزیه کامپوزیت‌ها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه.

Table 5. Analysis of dual and triple composites.

کیتوزان-بیوچار* Chitosan-Biochar	زئولیت-بیوچار-کیتوزان Zeolite-Chitosan-Biochar	زئولیت-بیوچار Zeolite-Biochar	زئولیت-کیتوزان Zeolite-Chitosan	عناصر Elements
44.68	48.63	12.15	23.15	کربن C%
3.41	3.76	3.79	5.64	نیتروژن N%
37.64	47.75	52.33	45.22	اکسیژن O%
0.52	0.54	1.48	0.59	سدیم Na%
-	0.44	0.99	0.89	منیزیم Mg%
0.09	3.86	4.73	2.65	آلومینیوم Al%
0.59	0.88	0.62	0.14	گوگرد S%
-	0.88	1.46	0.95	پتاسیم K%

*زئولیت-کیتوزان (ZC)، زئولیت-بیوچار (ZB)، کیتوزان-بیوچار (CB)، زئولیت-کیتوزان-بیوچار (ZBC)

* Zeolite-Chitosan (ZC), Zeolite-Biochar (ZB), Chitosan-Biochar (CB), Zeolite-Chitosan-Biochar (ZBC)

تیمارها شامل کامپوزیت زئولیت-کیتوزان، زئولیت-بیوچار، کیتوزان-بیوچار و زئولیت-کیتوزان-بیوچار در دو سطح صفر و ۰/۵ درصد وزنی ودو خاک با بافت سیلتی لوم با مقادیر متفاوت کربن آلی (۲ درصد خاک خلیج گرگان و ۱/۲ درصد در خاک حوضه اترک)، کامپوزیت‌ها به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شدند. رطوبت ظرفیت زراعی خاک‌ها با دستگاه پرشرپلیت اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت ظرفیت زراعی برای خاک خلیج گرگان ۲۹ درصد و برای خاک حوضه اترک ۲٤ درصد به‌دست آمد. سپس خاک‌های تیمار شده به ظروفی از جنس PVC اضافه شدند. خاک‌ها به مدت ۳ ماه با رطوبت ٦۵ درصد ظرفیت مزرعه در محیط آزمایشگاه انکوباسیون شدند (۲۱).

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی خاک: حدود آتربرگ[1] خاک شامل رطوبت حد روانی (LL)[2] با دستگاه کاساگرانده و رطوبت حد خمیری (PL)[3] با روش تهیه فیتیله اندازه‌گیری شد. شاخص خمیرایی (PI)[4] از اختلاف بین LL و PL به‌دست آمد (۲۲).

برای به‌دست آوردن ضریب انبساط و انقباض‌پذیری (COLE)[5] از آزمایش تهیه لوله یا میله-میله‌های گلی استفاده شد. بدین‌صورت که، ابتدا نمونه خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد، سپس خمیری از خاک با رطوبتی کم‌تر از حالت اشباع (به‌صورت کیفی) تهیه شده و به آرامی در سرنگ پلاستیکی با طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر یک سانتی‌متر قرار گرفت. آن‌گاه به آرامی (بدون تشکیل حباب) لوله تهیه شده بر روی صفحه کاملاً صاف مثل شیشه گذاشته شد. بلافاصله طول لوله یا میله گلی با خط‌کش مدرج اندازه‌گیری گردید. بعد از خشک شدن آن (گذشت ۷۲ ساعت)، مجدداً طول میله‌های گلی اندازه‌گیری شد (۲۳). سپس میزان ضریب انقباض و انبساط طبق رابطه زیر تعیین گشت.

$$COLE = \frac{Lm - Ld}{Ld}$$

که در آن، COLE ضریب انقباض و انبساط خطی، Lm طول میله گلی در حالت تر بر حسب سانتی‌متر و Ld طول میله گلی در حالت خشک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

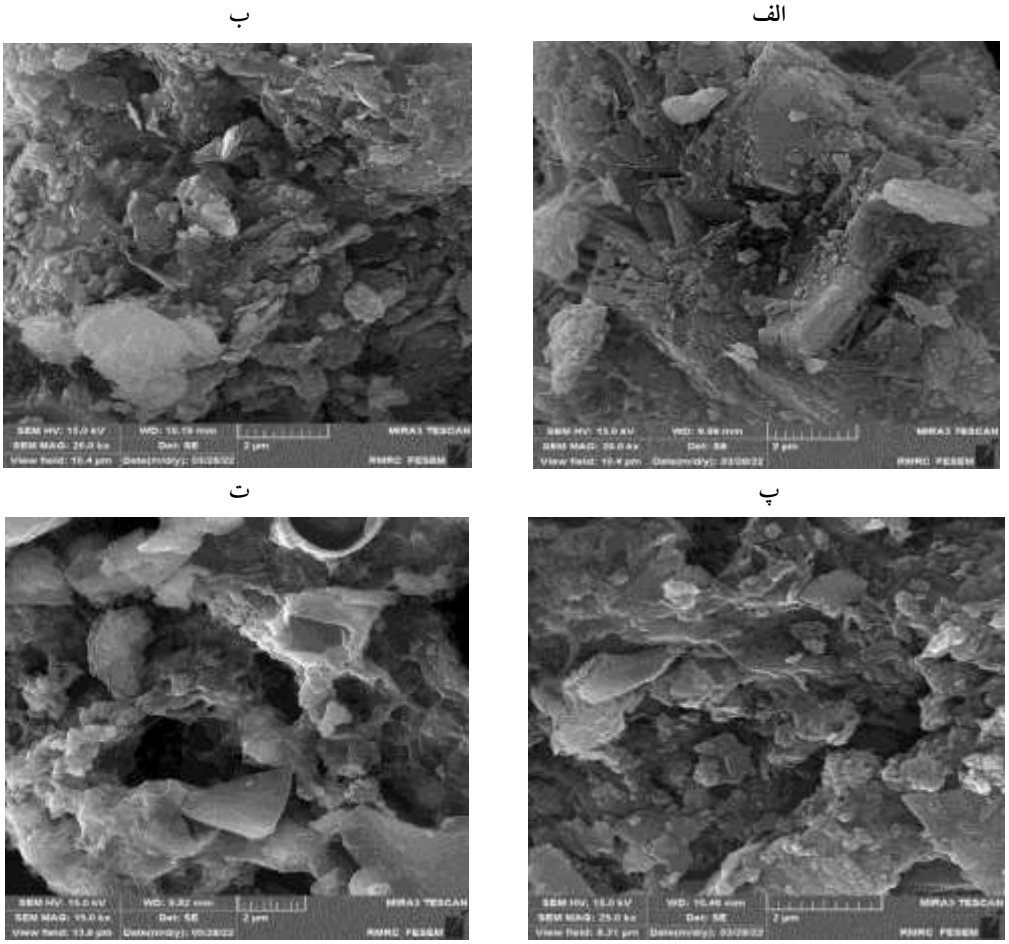
آزمایش‌های این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در دو خاک متفاوت با پنج تیمار شامل چهار ترکیب کامپوزیت و یک شاهد توسط نرم‌افزار SAS انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

برای مطالعه ویژگی‌های ریخت‌شناسی کامپوزیت‌های سنتزشده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) مدل TESCAN-MIRA3 ساخت جمهوری چک استفاده شد که تصاویر آن در شکل ۱ آمده است. زئولیت به‌دلیل سطح ویژه زیاد یک بستر مطلوب برای کیتوزان است (شکل ۱- الف). هم‌چنین کیتوزان به خوبی در ساختار ماتریسی زئولیت پراکنده شده است. تجزیه در اثر حرارت باعث افزایش تخلخل و ایجاد کانال در بیوچار شده است (۲٤). علت ایجاد منافذ کوچک عمدتاً به‌دلیل خروج مواد فرار از کامپوزیت است. با این‌حال، ایجاد منافذ با زئولیت در کامپوزیت بیوچار- زئولیت قابل مشاهده است. ساختار کامپوزیت دو جزئی کیتوزان- بیوچار بسیار مشابه زئولیت- بیوچار- کیتوزان است (شکل

1- Atterberg Limits
2- Liquid Limit
3- Plastic Limit
4- Plasticity Index
5- Coefficient of Linear Extensibility

۱- ت). سطح داخلی کامپوزیت‌ها متخلخل است یعنی فضای مناسبی برای نگهداشت رطوبت در خاک ایجاد می‌کنند که بستگی به میزان تخلخل در هر کامپوزیت، میزان نگهداری آب نیز متفاوت می‌باشد.



شکل ۱- تصاویر FESEM کامپوزیت‌های دوگانه و سه‌گانه.

(الف) زئولیت-کیتوزان، (ب) زئولیت-بیوچار، (پ) زئولیت-بیوچار-کیتوزان، (ت) کیتوزان-بیوچار.

Figure 1. Field Emission Scanning Electron Microscope of dual and triple composites.
(A) Zeolite-Chitosan, (B) Zeolite-Biochar, (C) Zeolite-Chitosan-Biochar, (D) Chitosan-Biochar.

نتایج تجزیه واریانس اثر کامپوزیت‌های مختلف مورد مطالعه بر ویژگی‌های مکانیکی خاک‌ها در جدول ٦ ارائه شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، نوع خاک بر تمامی صفت‌های مورد اندازه‌گیری در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که نوع کامپوزیت اثر معنی‌داری بر حد روانی (LL)، شاخص خمیری (PI) و ضریب انبساط و انقباض‌پذیری (COLE) داشت. از طرفی اثر متقابل نوع خاک × نوع کامپوزیت فقط بر شاخص خمیری دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ٦).

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده.

Table 6. Results of the variance parameters Analysis.

منابع تغییرات Sources of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		حد روانی ($g\ g^{-1}$) Liquid limit	حد خمیری ($g\ g^{-1}$) Plastic limit	شاخص خمیری ($g\ g^{-1}$) Plasticity index	انقباض و انبساط‌پذیری (-) COLE	کربن آلی (٪) Organic carbon
نوع خاک Soil type	1	149.49**	431.98**	73.22**	0.001**	5.38**
کامپوزیت Composite	4	381.74**	0.78 ns	86.88**	0.007**	0.07ns
نوع خاک × کامپوزیت Soil type*composite	4	0.35 ns	3.21 ns	1.64**	0.0001 ns	0.0006 ns
خطا Error	20	3.94	1.64	0.87	0.0001	0.05
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of Variation		2.27	5.01	6.95	10.50	12.92

**، *، ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

**, *, ns are significant at level 1%, 5% and non-significant, respectively

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که حد روانی خاک خلیج گرگان، ۱۰/۸ درصد نسبت به اترک بیش‌تر بود. هم‌چنین خاک خلیج گرگان میزان حد خمیری، ضریب انبساط و انقباض‌پذیری و کربن آلی به‌ترتیب ۲۵/۸ درصد، ۱٦/٦ درصد و ۳۸ درصد بیش‌تری نسبت به خاک اترک داشت (جدول ۷). یکی از دلایل بالا بودن حد روانی، حد خمیری و ضریب انبساط و انقباض‌پذیری خاک خلیج گرگان، بالا بودن میزان کربن آلی در این خاک است چرا که کربن آلی با افزایش چسبندگی بین ذرات خاک باعث افزایش میزان نگهداری آب خاک و در نتیجه افزایش حدود روانی و خمیری خاک می‌گردد. گریوانی و همکاران (۱۳۹٦) در پژوهش‌های خود درباره اثر مواد آلی روی حد روانی و حد خمیری خاک بستر دریا نشان دادند با افزایش میزان مواد آلی، رطوبت حد خمیری و حد روانی خاک نیز افزایش می‌یابد (۲۵). کلر و دکستر (۲۰۱۲) براساس مطالعات خود پیش‌بینی کردند خاک‌هایی که میزان رس آن‌ها بیش‌تر از ۱۰ درصد است رفتار پلاستیک دارند. بنابراین حد خمیری بالاتری نیز خواهند داشت در حالی‌که خاک‌هایی با میزان رس کم‌تر از ۱۰ درصد در صورتی رفتار پلاستیک از خود نشان می‌دهند که میزان ماده آلی آن‌ها بالا باشد (۲٦). همان‌طور که در جدول ٦ نشان داده شده است، خاک خلیج گرگان هم از نظر میزان رس و هم مقدار ماده آلی از خاک اترک بالاتر بوده، بنابراین انتظار می‌رود میزان حد روانی و حد خمیری بالاتری نیز نسبت به خاک اترک داشته باشد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین نوع خاک بر ویژگی‌های مکانیکی.

Table 7. Analysis of average comparing soil type on mechanical properties.

نوع خاک Soil type	حد روانی Liquid limit ($g\ g^{-1}$)	حد خمیری Plastic limit ($g\ g^{-1}$)	ضریب انبساط و انقباض‌پذیری Coefficient of linear extensibility (-)	کربن آلی Organic carbon (%)
خلیج گرگان Gorgan gulf	41.28[a]	29.38[a]	0.12[a]	2.21[a]
حوضه اترک Atrak Basin	36.81[b]	21.79[b]	0.10[b]	1.37[b]

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Dissimilar letters indicate significant differences in the level of 5%

هم‌چنین مقایسه میانگین اثر ساده کامپوزیت‌ها نشان داد که تمامی کامپوزیت‌ها باعث افزایش معنی‌دار حد روانی در مقایسه با تیمار شاهد شدند (۱۶). کامپوزیت‌های ZBC (۴۹/۵۴g g^{-1}) و سپس CB (۴۳/۵۰g g^{-1}) دارای بیش‌ترین حد روانی بودند (جدول ۸). علت افزایش حد روانی می‌تواند به‌دلیل وجود کیتوزان در کامپوزیت‌ها باشد. با اضافه کردن کیتوزان به خاک، چسبندگی بین ذرات زیاد می‌شود. هنگامی‌که محلول کیتوزان در بین ذرات خاک توزیع می‌شود، با ایجاد پل‌های سه‌بعدی بین کیتوزان و ذرات رس، باعث ایجاد تغییر در تخلخل خاک شده و این پدیده منجر به افزایش برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌گردد. این خاصیت می‌تواند به ویژگی‌های کاتیونی کیتوزان نیز مرتبط باشد که باعث برهمکنش بین پلیمر زیستی و لایه دوگانه پخشیده رس می‌شود. به‌عبارت دیگر، ذرات رس با بار منفی به کیتوزان که دارای بار مثبت است متصل می‌شوند. مکانیسم پیوند یونی بین بیوپلیمر و ذرات خاک منجر به افزایش برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌شود (۷). مطابق با مطالعه‌ای که آفتابی و همکاران (۲۰۲۰) روی تأثیر زئولیت بر ویژگی‌های مکانیکی خاک داشتند، نشان دادند که افزایش زئولیت در خاک حد روانی را از ۱۵/۵ به ۲۲/۴۸ تغییر داد زیرا زئولیت باعث افزایش رطوبت بهینه خاک، افزایش قدرت نگهداری آب توسط خاک و در نتیجه افزایش حد روانی خاک می‌گردد (۲۷).

از طرفی دیگر تمامی کامپوزیت‌ها باعث کاهش ضریب انقباض و انبساط‌پذیری در مقایسه با تیمار شاهد شدند. قابل‌ملاحظه است که کامپوزیت‌های ZBC و سپس ZC و CB دارای کمترین ضریب انقباض و انبساط‌پذیری بودند و پس از آن کامپوزیت ZB قرار داشت (جدول ۸). یکی از دلایل تغییر میزان انبساط و انقباض‌پذیری خاک تیمارشده با کامپوزیت‌ها می‌تواند وجود بیوچار باشد زیرا ذرات بیوچار سطوح ذرات خاک را پوشانده و باعث پر شدن فضای منافذ خاک و در نهایت کاهش COLE می‌گردد. این پدیده از ترک‌خوردگی خاک جلوگیری می‌کند (۲۸). هم‌چنین کاهش میزان COLE می‌تواند به‌علت تأثیر ذرات کربن باشد. مطابق جدول ۵ کامپوزیت ZBC از بالاترین میزان کربن برخوردار است و بعد از آن کامپوزیت CB قرار دارد. در واقع پیوندی که بین ذرات خاک و کرین به‌وجود می‌آید موجب افزایش مقاومت در برابر انبساط و انقباض‌پذیری خاک می‌شود (۲۹).

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین نوع کامپوزیت بر ویژگی‌های مکانیکی.

Table 8. Analysis of average comparing composite type on mechanical properties.

نوع خاک Soil type	حد روانی Liquid limit (g g^{-1})	ضریب انبساط و انقباض‌پذیری Coefficient of linear extensibility (-)
شاهد Control	28.31^{d}	0.17^{a}
ZC	37.31^{c}	0.10^{c}
ZB	36.57^{c}	0.12^{b}
CB	43.50^{b}	0.10^{c}
ZBC	49.54^{a}	0.07^{d}

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Dissimilar letters indicate significant differences in the level of 5%

مقایسه میانگین اثرهای متقابل نوع خاک × کامپوزیت نشان داد که در خاک خلیج گرگان، کامپوزیت ZBC در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها از کم‌ترین شاخص خمیری برخوردار بود. پس از آن به‌ترتیب کامپوزیت‌های CB (۱۰/٦٥g g^{-1})، ZB (۱۱/٥۰g g^{-1}) و ZC (۱۱/٦٤ g g^{-1}) قرار داشتند. تیمار شاهد نیز در مقایسه با کامپوزیت‌ها از بالاترین شاخص خمیری برخوردار بود (جدول ۹). در خاک اترک نیز پایین‌ترین شاخص خمیری متعلق به کامپوزیت ZBC بود و پس از آن به‌ترتیب کامپوزیت‌های CB (۱۳/٤۹g g^{-1})، ZC (۱٥/۳٤g g^{-1}) و ZB (۱٦/۰۹g g^{-1}) قرار داشتند. تیمار شاهد نیزاز بالاترین شاخص خمیری برخوردار بود (جدول ۹). کیتوزان باعث ایجاد چسبندگی بین ذرات شده و منجر به افزایش ویژگی‌های مکانیکی خاک از جمله حد روانی و حد خمیری می‌گردد و با اتصال به ذرات رس که دارای بار منفی هستند باعث افزایش نگهداری آب در خاک می‌شود (۷). از طرفی زئولیت با افزایش رطوبت خاک و افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، باعث افزایش حد خمیری خاک می‌گردد (۲۷). هم‌چنین اضافه کردن ماده آلی به خاک با افزایش جذب آب توسط بیوچار موجب زیاد شدن حد روانی و حد خمیری خاک می‌گردد (۳۰). با توجه به تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (شکل ۱ ب، پ و ث)، کامپوزیت‌های دارای بیوچار حفراتی دارند که احتمالاً موجب جذب و نگهداری آب و در نتیجه افزایش حدود آتربرگ خاک می‌گردد. طی پژوهشی که توسط اصغری (۲۰۱۱) انجام شد، دریافت با به‌کار بردن ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار حد روانی و حد خمیری می‌گردد (۳۱). احتمالاً دلیل بالا بودن مقادیر مربوط به حد روانی و خمیری خاک در کامپوزیت ZBC، وجود هر سه نوع ماده در کامپوزیت مذکور باشد. براساس مطالعه‌ای که آرتور و همکاران (۲۰۲۰) روی اثر بیوچار شلتوک برنج بر حدود آتربرگ خاک‌های آئروسول غنا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزودن بیوچار به خاک حد خمیری و حد روانی را به‌ترتیب ۲۷ و ۲۰٪ افزایش داد (۳۲). هم‌چنین رجبی و اردکانی (۲۰۲۰) روی تأثیر زئولیت بر ویژگی‌ها مکانیکی خاک مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش مقدار زئولیت، حد روانی و حد خمیری در خاک افزایش پیدا می‌کند (۳۳). زانگ و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه اثر بیوچار بر خصوصیات فیزیکی دو نوع خاک متفاوت بیان نمودند که با افزودن ٤٪ بیوچار به خاک، حد خمیری به میزان ۲۲٪ افزایش یافت (۳٤).

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک × کامپوزیت بر شاخص خمیری.

Table 9. Analysis of average comparing of interaction effect of soil type × composite on plasticity index.

نوع خاک Soil Type	کامپوزیت Composite	شاخص خمیری Plastic limit
خلیج گرگان Gorgan Gulf	شاهد Control	18.45[a]
	ZC	11.64[b]
	ZB	11.50[b]
	CB	10.65[b]
	ZBC	7.23[c]
حوضه اترک Atrak Basin	شاهد Control	20.13[a]
	ZC	15.03[bc]
	ZB	16.09[b]
	CB	13.49[c]
	ZBC	10.35[d]

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Dissimilar letters indicate significant differences in the level of 5%

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر کامپوزیت‌های زئولیت-کیتوزان، زئولیت-بیوچار، کیتوزان-بیوچار و زئولیت-کیتوزان-بیوچار (صفر و ۰/۵ درصد وزنی) روی برخی شاخص‌های مکانیکی خاک بعد از سه ماه انکوباسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مصرف هر چهار کامپوزیت باعث افزایش رطوبت حد روانی می‌شود که این افزایش در کامپوزیت سه‌گانه زئولیت-کیتوزان-بیوچار (ZBC) بیش‌تر از سایر کامپوزیت‌ها بود. هم‌چنین شاخص خمیری خاک با به‌کار بردن کامپوزیت ZBC نسبت به سایر کامپوزیت‌ها کاهش بیش‌تری داشت و از این جهت مقدار نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داد افزودن کامپوزیت‌ها به‌خصوص کامپوزیت ZBC باعث کاهش ضریب انبساط و انقباض‌پذیری شده و در نتیجه مانع از ترک‌خوردگی خاک می‌شود. در نهایت کاربرد کامپوزیت ZBC حاصل از زئولیت-کیتوزان و بیوچار می‌تواند عاملی برای بهبود شاخص‌های مکانیکی خاک باشد. با توجه به انجام این مطالعه در شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده توصیه می‌شود مطالعه بر روی اثر ترکیبات مختلف کامپوزیت‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در مقیاس مزرعه‌ای و شرایط مختلف اقلیمی نیز انجام شود.

منابع

1. Latifi, N., Eisazadeh, A., Marto, A., & Meehan, C. L. (2017). Tropical residual soil stabilization: A powder form material for increasing soil strength. *Construction and Building Materials*, 147, 827-836. **doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.115.**

2. Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A., & Moezzi, A. (2016). Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties. *Journal of Water and Soil Conservation*, 4, 235-250. **doi. 10.22069/jwfst.2016.9777.2407.** [In Persian]

3.Zare, S., Mohammadi, J., Mombeni, M., Shokouhi, R., & Qouhestani, Q. (2020). The effect of different soil coverings on some Physical and mechanical properties of eolian sediments. *Destruction and restoration of natural lands*, 1, 105-119. **doi:20.1001.1.27174425.1399.1.1.11.0.** [In Persian]

4.Rajabi, A. M., & Ardakani, S. B. (2019). Effects of Natural-Zeolite Additive on Mechanical and Physicochemical Properties of Clayey Soils. *civil engineering*, 2 (35), 121-128. **doi:10.52547/jeg.14.4.609.** [In Persian]

5.Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and functional polymers*, 46 (1), 1-27. **doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9.**

6.Orts, W. J., Sojka, R. E., & Glenn, G. M. (2000). Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products*, 11 (1), 19-29. **doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00030-8.**

7.Hataf, N., Ghadir, P., & Ranjbar, N. (2018). Investigation of soil stabilization using chitosan biopolymer. *Journal of cleaner production*, 170, 1493-1500. **doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.256.**

8.Shariatmadari, N., Reza, M., Tasuji, A., Ghadir, P., & Javadi, A. A. (2020). Experimental study on the effect of chitosan biopolymer on sandy soil stabilization. *In E3S Web of Conferences Édition Diffusion Presse Sciences*, 195, 1-5. **doi.org/10.1051/e3sconf/202019506007.**

9.Mesa, A. C., & Spokas, K. A. (2011). Impacts of biochar (black carbon) additions on the sorption and efficacy of herbicides. *Herbicides and environment*, 13, 315-340. **doi:10.5772/13620.**

10.Pranagal, J., Oleszczuk, P., Tomaszewska-Krojańska, D., Kraska, P., & Różyło, K. (2017). Effect of biochar application on the physical properties of Haplic Podzol. *Soil and Tillage Research*, 174, 92-103. **doi.org/10.1016/j.still.2017.06.007.**

11.Wang, H., She, D., Fei, Y., & Tang, S. (2019). Synergic effects of biochar and polyacrylamide amendments on the mechanical properties of silt loam soil under coastal reclamation in China. *Catena*, 182, 104-152. **doi.org/10.1016/j.catena.2019.104152.**

12.Razzaghi, F., Obour, P. B., & Arthur, E. (2020). Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*, 361, 1-10. **doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055.**

13.Jien, S. H. (2019). Physical characteristics of biochars and their effects on soil physical properties. In *Biochar from biomass and waste*, 84, 21-35. **doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00002-9.**

14.Smith, C. W., Hadas, A., Dan, J., & Koyumdjisky, H. (1985). Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma*, 35 (1), 47-65. **doi.org/10.1016/0016-7061(85)90055-2.**

15.Walkly, A., & Black, I. A. (1934). An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal*, 37, 29-38. **doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.**

16.Wallinga, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). Soil and plant analysis, series of syllabi part 7, plant analysis procedure. *Wageningen Agriculture University, Wageningen*, 7, 197-200. **doi: 10.4236/opj.2019.911016.**

17.Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411. **doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15.**

18.Sparrevik, M., Adam, C., Martinsen, V., & Cornelissen, G. (2015). Emissions of gases and particles from charcoal/ biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved "retort" kilns. *Biomass and Bioenergy*, 72, 65-73. **doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.11.016.**

19.Zhou, Y., Gao, B., Zimmerman, A.R., Fang, J., Sun, Y., & Cao, X. (2013). Sorption of heavy metals on chitosan-modified biochars and its biological

effects. *Chemical engineering journal*, 231, 512-518. **doi.org/10.1016/j.cej. 2013.07.036.**

20. Wan Ngah, W. S., Teong, L. C., Wong, C. S., & Hanafiah, M. A. K. M. (2012). Preparation and characterization of chitosan–zeolite composites. *Journal of applied polymer science*, 125 (3), 2417-2425. **doi.org/10.1002/ app.36503.**
21. Stabnikov, V., Chu, J., Myo, A. N., & Ivanov, V. (2013). Immobilization of sand dust and associated pollutants using bioaggregation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224, 1-9. **doi:10.1007/ s11270-013-1631-0.**
22. Mirkhani, R., Saadat, S., Shabanpour, S. M., Aria, P. V., & Yegane, M. (2007). Estination of soil consistency limits by using readily available characteristics. *Journal of soil Science*, 21, 205-207. **doi:10.22092/ijsr.2018.127087.** [In Persian]
23. Schafer, W. M., & Singer, M. J. (1976). A new method of measuring shrink-swell potential using soil pastes. *Soil Science Society of America Journal*, 40 (5), 805-806. **doi.org/10.2136/ sssaj 1976.03615995004000050050x.**
24. Usman, A. R., Abduljabbar, A., Vithanage, M., Ok, Y. S., Ahmad, M., Ahmad, M., Elfaki, J., Abdulazeem, S. S., & Al-Wabel, M. I. (2015). Biochar production from date palm waste: Charring temperature induced changes in composition and surface chemistry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 115, 392-400. **doi.org/ 10. 1016/j.jaap.2015.08.016.**
25. Garivani, H., Naderi Bani, A. M., Pour Kerman, M., & Amjadi, S. (2017). Investigating the effect of the amount of carbonates and organic matter on the liquid limit and plastic limit in seabed soils in the northern half of the Persian Gulf. *Oceanograph*, 298, 9-15. **doi. 10. 18869/acadpub.joc.8.29.9.** [In Persian]
26. Keller, T., & Dexter, A. R. (2012). Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content. *Soil Research*, 50 (1), 7-17. **doi:10.1071/SR11174.**
27. Aftabi, S., Fathi, S., & Aminfar, M. H. (2020). The Effect of Zeolite on Sandy-Silt Soil Mechanical Properties. *International Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 14(10), 269-278. **doi.org/ Publication/ 10011518.**
28. Zong, Y., Chen, D., & Lu, S. (2014). Impact of biochars on swell–shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177 (6), 920-926. **doi.org/10.1002/jpln. 201300596.**
29. Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., & Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197. **doi. org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016.**
30. Qu, J., Li, B., Wei, T., Li, C., & Liu, B. (2014). Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility. *Catena*, 122, 54-60. **doi.org/10.1016/j.catena. 2014.05.016.**
31. Asghari, Sh. (2011). Effects of Tabriz petrochemical sewage sludge on organic carbon, aggregate stability indices and consistency limits of a semiarid soil. *Journal of Water Soi.* 25, 530-539. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.9640.** [In Persian]
32. Arthur, E., Oppong Danso, E., Beiranvand, M., Pouladi, N., Yakubu, A., Abenney-Mickson, S., & Sabi, E. B. (2020). Rice straw biochar effects on Atterberg limits and aggregate characteristics of an Acrisol in Ghana. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (13), 1861-1872. **doi.org/10.1080/ 03650340.2019.1699240.**
33. Rajabi, A. M., & Ardakani, S. B. (2020). Effects of natural-zeolite additive on mechanical and physicochemical properties of clayey soils. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32 (10), 04020306. **doi.org/10.1061/ (ASCE)MT.1943-5533.0003336.**
34. Zong, Y., Wang, Y., Sheng, Y., Wu, C., & Lu, S. (2018). Ameliorating soil acidity and physical properties of two contrasting texture Ultisols with wastewater sludge biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 25726-25733. **doi:10.1007/s11356-017-9509-0.**