Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

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

The effects of biochar types application on the concentration of silicon and some essential nutrients in the soil with silty clay loam texture

Mehrdad Ranjbar[1], Fardin Sadegh-Zadeh[*2], Mostafa Emadi[3], Mehdi Ghajar Sepanlou[4], Abdolghafour Ahmadpour Dashliboroun[5]

1. Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mehrdadranjbar88@gmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fardin.upm@gmail.com
3. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mostafaemadi@gmail.com
4. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: sepanlu@yahoo.com
5. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: gh.ahmadpoor@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.02.2021
Revised: 02.22.2022
Accepted: 02.23.2022

Keywords:
Chemical fertilizer,
Fertility,
Pyrolysis,
Soil carbon

ABSTRACT

Background and Objectives: Most of the Iranian soils are poor in organic matter due to poor management; including monoculture system and lake of crop rotation, removal of plant residues from the field, arid and semi-arid climates and non-utilization of organic fertilizers and organic amendment. Improper use of chemical fertilizers to increase agricultural production has initiated environmental issue and diminish soil fertility. Nowadays, with the development of organic farming, the use of organic amendments to replace the application of chemical fertilizers took a pay attention. The sugarcane is a plant that accumulates silicon. The poor management of sugarcane cultivation can reduce available silicon. Biochar is one of the most important organic compounds for improving soil properties, carbon content and improving the concentration of available silicon. The aim of this study was to investigate the effects of biochar types application on the concentrations of silicon and some essential elements of the sugarcane field soil.

Materials and Methods: In order to investigate the effects of biochar types application on the concentration of silicon and some essential nutrients in the sugarcane field soil, an experimental design was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete design with two factors including biochar and chemical fertilizer in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of Imam Khomeini Agro-Industrial Company in Khuzestan. The applied biochar was included sugarcane bagasse, rice husk, rice straw, wheat straw and dicer wood chips, which were produced at 300 °C for 3 hours in a pyrolysis furnace. Experimental treatments included the control (soil without any biochar or chemical fertilizers), biochar, chemical fertilizers and mixture of biochar and chemical fertilizers. Biochar was added to the soil based on one percent weight and the treatments were incubated for three months in the field capacity water content. At the end of the incubation period, the concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, silicon, iron, manganese, copper and zinc were measured.

Results: The results showed that the effects of treatments on the concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, silicon, iron, manganese, copper and zinc in the soil was significant. The mixture of rice straw biochar and nitrogen, phosphorus and potassium from chemical fertilizer sources (RSB + NPK) treatment had the highest available concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil. The highest available soil silicon concentrations were related to the treatments of mixture of rice straw biochar and nitrogen, phosphorus and potassium from chemical fertilizer sources (RSB + NPK), mixture of rice straw biochar and nitrogen and phosphorus from chemical fertilizer sources (RSB + NP) and mixture of rice straw biochar and phosphorus from chemical fertilizer sources (RSB + P). There was no significant difference between these treatments and treatments of rice straw biochar along with phosphorus and potassium (RSB + PK) and rice straw biochar (RSB).

Conclusion: In general, the results of this study showed that treatments with biochar (either biochar alone or mixture of biochar and chemical fertilizer) increased the available concentration of soil nutrients more than treatments without biochar (control and chemical fertilizer). Among the biochars, rice straw biochar, sugarcane bagasse biochar and rice husk biochar were most useful to increase the available concentration of nutrients. In general, it can be concluded that because biochar is a rich source of the nutrients and has a positive effect on soil properties, Hence, it can be used as useful material factor to improve soil fertility.

Cite this article: Ranjbar, Mehrdad, Sadegh-Zadeh, Fardin, Emadi, Mostafa, Ghajar Sepanlou, Mehdi, Ahmadpour Dashliboroun, Abdolghafour. 2022. The effects of biochar types application on the concentration of silicon and some essential nutrients in the soil with silty clay loam texture. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (2), 87-105.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19279.2028
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۲٦۷-۲۳۲۲

شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲

تأثیر کاربرد انواع زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری خاک دارای بافت لوم رسی سیلتی

مهرداد رنجبر[۱]، فردین صادق‌زاده*[۲]، مصطفی عمادی[۳]، مهدی قاجار سپانلو[٤]، عبدالغفور احمدپور داشلی‌برون[٥]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mehrdadranjbar88@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fardin.upm@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mostafaemadi@gmail.com

٤. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: sepanlu@yahoo.com

٥. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: gh.ahmadpoor@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٤/۱۱
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۲/۰٤

واژه‌های کلیدی:
حاصلخیزی،
کربن خاک،
کود شیمیایی،
گرماکافت

چکیده

سابقه و هدف: بسیاری از خاک‌های کشاورزی ایران به‌علت مدیریت نامناسب از جمله سیستم تک‌کشتی و عدم رعایت تناوب زراعی، خروج کامل بقایای گیاهی از مزرعه و اقلیم خشک و نیمه خشک و عدم کاربرد کودها و اصلاح‌کننده‌های آلی از نظر ماده آلی فقیر هستند. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به منظور افزایش میزان تولیدات کشاورزی به‌ویژه در بخش زراعی موجب بروز پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی می‌شود. امروزه با توسعه کشاورزی ارگانیک، استفاده از ترکیبات آلی برای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. نیشکر یک گیاه تجمع‌کننده سیلیسیم است و مدیریت ضعیف در کشت نیشکر می‌تواند سبب کاهش سیلیسیم قابل‌دسترس شود. یکی از مهم‌ترین اصلاح‌کننده‌های آلی برای بهبود ویژگی‌های خاک، محتوای کربن و بهبود غلظت سیلیسیم قابل‌دسترس، زغال زیستی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد انواع زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری خاک دارای بافت لوم رسی سیلتی بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد انواع زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری خاک دارای بافت لوم رسی سیلتی، طرح آزمایشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور زغال زیستی و کود شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) خوزستان اجرا شد. زغال‌های زیستی مورد استفاده در این پژوهش باگاس نیشکر، پوسته برنج، کاه برنج، کاه گندم و چوب نراد بودند که گرماکافت آن‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳

ساعت گرماکافت انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (بدون مصرف زغال زیستی و کود شیمیایی)، زغال زیستی، کودهای شیمیایی و زغال زیستی به همراه کودهای شیمیایی بود. زغال‌های زیستی در سطح یک درصد وزنی به خاک اضافه شدند و تیمارها به مدت سه ماه در رطوبت ظرفیت زراعی انکوباسیون شدند. در پایان دوره انکوباسیون غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سیلیسیم، آهن، منگنز، مس و روی اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که اثر تیمارها بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سیلیسیم، آهن، منگنز، مس و روی در خاک معنی‌دار بود. تیمار زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک را داشت. بیش‌ترین غلظت سیلیسیم خاک مربوط به تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK)، زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر (RSB+NP) و زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر (RSB+P) بود که بین این تیمارها و تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر و پتاسیم (RSB+PK) و زغال زیستی کاه برنج (RSB) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد تیمارهای دارای زغال زیستی (زغال زیستی به تنهایی و یا همراه کود شیمیایی) نسبت به تیمارهای بدون زغال زیستی (شاهد و کود شیمیایی) تأثیر بیش‌تری در افزایش غلظت قابل‌دسترس عناصر غذایی در خاک داشتند. در بین زغال‌های زیستی نیز، زغال‌های زیستی کاه برنج، باگاس نیشکر و پوسته برنج در افزایش غلظت عناصر غذایی مؤثرتر بودند. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد به‌دلیل این‌که زغال زیستی منبع غنی از این عناصر غذایی است و تأثیر مثبتی که بر ویژگی‌های خاک دارد می‌تواند به عنوان یک عامل مؤثر در جهت بهبود حاصلخیزی خاک استفاده شود.

استناد: رنجبر، مهرداد، صادق‌زاده، فردین، عمادی، مصطفی، قاجار سپانلو، مهدی، احمدپور داشلی‌برون، عبدالغفور (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد انواع زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری خاک دارای بافت لوم رسی سیلتی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲ (۲)، ۱۰۵-۸۷.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19279.2028

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

بهبود ویژگی‌های خاک برای تولید اقتصادی محصولات کشاورزی امری رایج و ضروری است. در مقابل اثرات زیان‌آور و هم‌چنین هزینه زیاد استفاده از کودهای شیمیایی، زغال زیستی می‌تواند منجر به مدیریت پایدار خاک در طولانی‌مدت شود (۱). زغال زیستی ماده‌ای غنی از کربن است که از گرماکافت زیست‌توده‌های آلی در محیط بدون اکسیژن و یا دارای اکسیژن محدود، در دماهای مختلف تولید می‌شود. کربن زغال زیستی در خاک پایداری بسیار بالایی داشته و کاربرد زغال زیستی در ترسیب کربن در خاک بسیار مؤثر است (۲). زغال زیستی هم‌چنین به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نهایت بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی نقش دارد (۳). بار سطحی منفی و ساختار متخلخل از ویژگی‌های زغال زیستی می‌باشد که به‌دلیل داشتن چنین ویژگی‌هایی می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را بهبود بخشد (٤). هم‌چنین نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده که کاربرد زغال زیستی کربن آلی خاک، فسفر قابل‌دسترس، پتاسیم قابل تبادل و ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد (۵).

نیشکر از گونه‌های گیاهی تجمع‌کننده سیلیسیم است و از آن‌جا که مقادیر سیلیسیم برداشت شده توسط محصول از خاک اغلب بیش‌تر از سیلیسیم آزاد شده توسط هوازدگی رس‌های سیلیکاتی است سیلیسیم محلول برداشته شده توسط گیاه نمی‌تواند جبران شود و در نتیجه ظرفیت خاک برای عرضه سیلیسیم کاهش می‌یابد (٦). زغال زیستی تولید شده از مواد اولیه مختلف می‌تواند به عنوان یک منبع سیلیسیم در نظر گرفته شود (۷). بعضی از زغال‌های زیستی می‌توانند سبب بهبود مقدار سیلیسیم قابل‌دسترس خاک شود (۸). زغال زیستی تولید شده از بقایای گیاهان دارای سیلیسیم زیاد می‌تواند به‌عنوان یک منبع کند رهش سیلیسیم در خاک‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (۹). کاربرد زغال زیستی حاصل از زیست‌توده گیاهان دارای سیلیسیم می‌تواند سبب افزایش غلظت سیلیسیم و سایر عناصر غذایی در خاک شود (۱۰). دیوبند هفشجانی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند، افزودن زغال زیستی باگاس نیشکر تهیه شده در ۳۰۰ درجه سلسیوس و در سطوح صفر، ۰/۲، ۰/۵ و یک درصد به خاک باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس، ظرفیت تبادل آنیونی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردید (۱۱). کاربرد زغال زیستی در خاک آهکی سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی قابل دسترس خاک شد (۱۲).

با توجه به گروه‌های عاملی فراوان، زغال زیستی توانایی خاک برای نگه‌داری عناصر غذایی و آب قابل‌دسترس گیاه را افزایش و آبشویی عناصر غذایی و کودها را کاهش داد (۱۳). در مطالعاتی دیگر کاربرد زغال زیستی سبب افزایش نیتروژن کل (۱۰٪)، میزان مواد آلی خاک (۱۷٪)، فسفر (٦۵٪) و پتاسیم (۱۱۸٪) شد (١٤). افزودن زغال زیستی کارایی استفاده از عناصر غذایی را افزایش داد (۱۵). پژوهش‌ها نشان داده است که زغال زیستی موجب تغییر پویایی نیتروژن در خاک می‌شود (١٦). هم‌چنین با افزایش سطوح کاربرد زغال زیستی، جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش یافت (۱۷). زغال زیستی سبب افزایش کارایی استفاده از نیتروژن موجود در کود می‌شود (۱۸). غلظت فسفر قابل‌دسترس خاک بعد از افزودن زغال زیستی افزایش می‌یابد، به این علت که در طی فرایند تولید زغال زیستی، غلظت فسفر محلول

افزایش می‌یابد و وقتی که زغال زیستی به عنوان اصلاح‌کننده در خاک استفاده گردد، فسفر آن می‌تواند در خاک رها شود (۱۹). بررسی اثرات کاربرد زغال زیستی در یک خاک لوم رسی نشان داد که کاربرد زغال زیستی غلظت پتاسیم قابل‌دسترس خاک را به مقدار بسیار زیادی افزایش داد، به‌طوری‌که کاربرد ۳۰ گرم زغال زیستی بر کیلوگرم خاک، پتاسیم خاک را ۱۴۰ درصد افزایش داد (۲۰). در پژوهشی مشاهده شد که بعد از تبدیل زیست‌توده به زغال زیستی، غلظت آهن و منگنز تغییر چندانی نکرد (۲۱).

درصد ماده آلی و آنیون‌های غذایی در خاک‌های خوزستان پایین می‌باشد و استفاده از زغال زیستی در این خاک‌ها به عنوان منبع تأمین‌کننده مواد آلی برای تأمین مواد غذایی مراحل مختلف رشد گیاه و هم‌چنین اصلاح ویژگی‌های مخلف خاک تأثیر به‌سزایی داشته است (۱۱). به هر حال تاکنون تأثیر انواع مختلف زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و سایر عناصر غذایی خاک به‌صورت جامع در مزارع نیشکر که سیستم تک کشتی و متراکمی دارند، بررسی نشده است. لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد انواع زغال زیستی بر غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری خاک نمونه‌برداری شده از یک مزرعه نیشکر بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور زغال زیستی و کود شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) خوزستان اجرا شد. زغال‌های زیستی مورد استفاده باگاس نیشکر، پوسته برنج، کاه برنج و کاه گندم و چوب نراد بوند که گرماکافت آن‌ها در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۳ ساعت در کوره انجام شد. پس از تهیه زغال‌های زیستی، ویژگی‌های آن‌ها شامل pH، هدایت الکتریکی و آنالیز عناصر غذایی قابل‌دسترس (سیلیسیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با استفاده از روش ASTM D5142 اندازه‌گیری شد (۲۲). اندازه‌گیری کربن و هیدروژن در زغال زیستی با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری[1] صورت پذیرفت (۲۳). غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و رو قابل‌دسترس زغال زیستی به روش اکسید کردن با آب اکسیژنه و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲٤). عملکرد زغال زیستی با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد:

(۱) عملکرد زغال زیستی (درصد) = وزن زغال زیستی تولید شده (گرم) / وزن زیتوده اولیه آون خشک شده (گرم) × ۱۰۰

زغال‌های زیستی در سطح یک درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفتند و کودهای شیمیایی شامل ۳۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره (نیتروژن)، ٦٦/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم دی آمونیوم فسفات (فسفر) و ۵۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات پتاسیم (پتاسیم) بود. تیمارها شامل:

۱- شاهد (بدون مصرف زغال زیستی و کود شیمیایی)،

۲- انواع زغال زیستی (زغال زیستی باگاس نیشکر، زغال زیستی پوسته برنج، زغال زیستی کاه برنج، زغال زیستی کاه گندم و زغال زیستی چوب نراد)،

۳- کودهای شیمیایی ((نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (نیتروژن و فسفر)، (نیتروژن و پتاسیم)، (فسفر و پتاسیم)، (نیتروژن)، (فسفر)، (پتاسیم))

1- CHNOS Elemental Analyzer

٤- انواع زغال‌های زیستی به همراه کودهای شیمیایی ((زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن و فسفر)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن و پتاسیم)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه فسفر)، (زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه پتاسیم)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه نیتروژن و فسفر)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه نیتروژن و پتاسیم)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه نیتروژن)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه فسفر)، (زغال زیستی پوسته برنج به همراه پتاسیم)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر)، (زغال زیستی کاه برنج به همراه پتاسیم)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه نیتروژن و فسفر)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه نیتروژن و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه نیتروژن)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه فسفر)، (زغال زیستی کاه گندم به همراه پتاسیم)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه نیتروژن و فسفر)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه نیتروژن و پتاسیم)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه فسفر و پتاسیم)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه نیتروژن)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه فسفر)، (زغال زیستی چوب نراد به همراه پتاسیم)) بود. ۲۰۰ گرم خاک توزین و به ظروف پلاستیکی منفذدار (جهت تبادل تهویه‌ای) انتقال داده و زغال‌های زیستی و کودها اضافه شدند. رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به روش اسپری، در حد ظرفیت زراعی تنظیم شد و تا پایان آزمایش به صورت وزنی کنترل گردید. نمونه‌ها به مدت سه ماه در شرایط انکوباسیون و دمای آزمایشگاه نگه‌داری شدند. در پایان دوره انکوباسیون غلظت قابل‌دسترس عناصر غذایی در خاک اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (۲۵)، غلظت فسفر قابل‌دسترس خاک به روش رنگ‌سنجی (۲٦) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (۲۷)، غلظت سیلیسیم قابل دسترس به روش عصاره‌گیری خاک با استفاده از کلرید کلسیم (۲۸) و هم‌چنین غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس پس از عصاره‌گیری خاک با DTPA، با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲٤). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک و زغال‌های زیستی در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Statistix-8 و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some of the physicochemical properties of soil.

ویژگی Property	واحد Unit	مقدار Value
اسیدیته pH	-	7.6
هدایت الکتریکی EC	(دسی‌زیمنس بر متر) ($dS\ m^{-1}$)	3.8
کربن آلی OC	(درصد) (%)	0.59
کربنات کلسیم $CaCO_3$	(درصد) (%)	24.63
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	(سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم) ($cmol_c\ kg^{-1}$)	13.54
نیتروژن کل Total N	(درصد) (%)	0.05
فسفر قابل‌دسترس Available P	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	12
پتاسیم قابل‌دسترس Available K	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	182
سیلیسیم قابل‌دسترس Available Si	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	32.5
آهن قابل‌دسترس Available Fe	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	5.8
منگنز قابل‌دسترس Available Mn	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	4.43
مس قابل‌دسترس Available Cu	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	0.8
روی قابل‌دسترس Available Zn	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	0.47
شن Sand	(درصد) (%)	20
سیلت Silt	(درصد) (%)	52
رس Clay	(درصد) (%)	28

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال‌های زیستی مورد استفاده.

Table 2. Some of the physicochemical properties of biochar used.

ویژگی Property	واحد Unit	زغال زیستی باگاس نیشکر SBB	زغال زیستی پوسته برنج RHB	زغال زیستی کاه برنج RSB	زغال زیستی کاه گندم WSB	زغال زیستی چوب نراد WCB
اسیدیته pH	-	6.6	7.3	7.5	7.4	6.8
هدایت الکتریکی EC	(دسی‌زیمنس بر متر) ($dS\ m^{-1}$)	0.8	1.1	2	1.5	0.6
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	(سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم) ($cmol_c\ kg^{-1}$)	87.65	54.78	69.23	45.62	31.21
کربن C	(درصد) (%)	53.27	55.74	57.34	51.11	48.42
هیدروژن H	(درصد) (%)	3.47	4.01	3.74	2.86	2.58
نیتروژن کل Total N	(درصد) (%)	0.85	0.5	1.1	0.63	0.23
فسفر قابل‌دسترس Available P	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	499.7	467.3	511.6	330.5	298.1
پتاسیم قابل‌دسترس Available K	(میلی‌گرم بر گرم) ($mg\ g^{-1}$)	5.028	8.23	11.243	10.035	2.221
سیلیسیم قابل‌دسترس Available Si	(میلی‌گرم بر گرم) ($mg\ g^{-1}$)	1.753	2.015	2.351	1.564	0.975
آهن قابل‌دسترس Available Fe	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	431.1	376.3	485.2	323.4	413.5
منگنز قابل‌دسترس Available Mn	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	80.5	295	388.1	150.1	123.1
مس قابل‌دسترس Available Cu	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	15.81	11.22	12.01	10.53	9
روی قابل‌دسترس Available Zn	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg\ kg^{-1}$)	91.02	38.78	62.31	51.12	85.21
عملکرد Biochar recovery	(درصد) (%)	45.26	57.78	53.45	49.36	62.24

SBB: Sugarcane Bagasse Biochar RHB: Rice Husk Biochar, RSB: Rice Straw Biochar, WSB: Wheat Straw Biochar, WCB: Wood Chips Biochar

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت عناصر سیلیسیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد که این صفات، تحت‌تأثیر زغال زیستی و کودهای شیمیایی قرار گرفتند و اثرات متقابل زغال زیستی و کود شیمیایی برای عناصر سیلیسیم، نیتروژن و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت برخی عناصر غذایی خاک.

Table 3. Analysis of variance of the effect of treatments on the concentration of some soil nutrients.

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degree of Freedom	میانگین مربعات Mean of Squares			
		سیلیسیم قابل‌دسترس Si	نیتروژن کل N	فسفر قابل‌دسترس P	پتاسیم قابل‌دسترس K
زغال زیستی Biochar (B)	5	147973**	0.11**	1747.31**	752906**
کود شیمیایی Fertilizer (F)	7	22**	0.000017**	75.16**	252460**
زغال زیستی × کود شیمیایی B*F	35	3**	0.000002**	0.89*	14584**
خطا Error	94	2	0.00000052	0.54	26
ضریب تغییرات (درصد) CV%		0.8	1.06	2.35	1.03

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** are significant at the probability levels of 5 and 1%, respectively

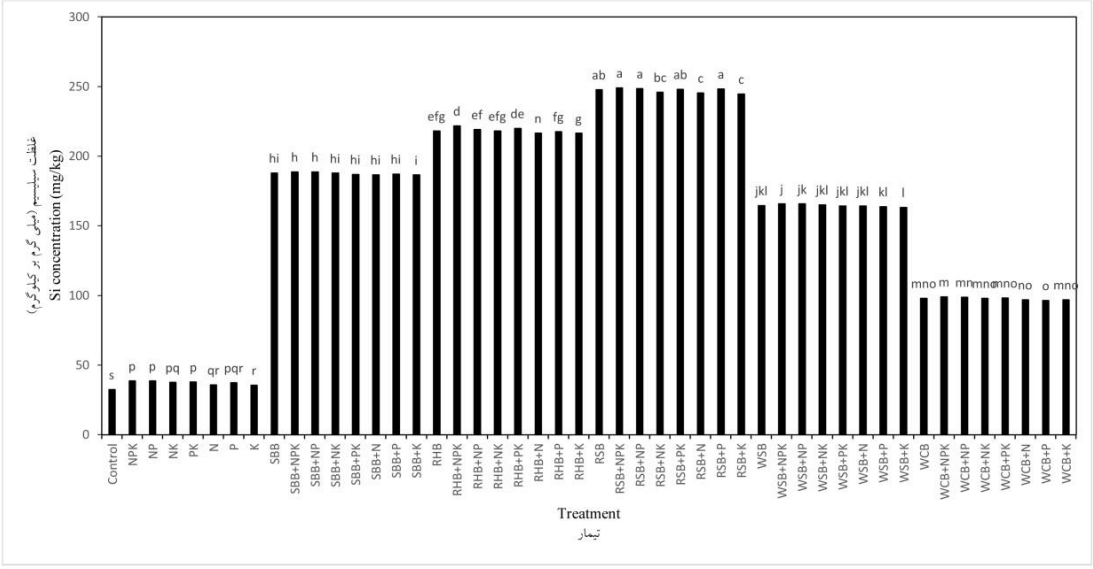
نتایج شکل ۱ نشان داد که در تیمارهایی که زغال زیستی اضافه شد نسبت به تیمارهای بدون زغال زیستی دارای غلظت بیش‌تر سیلیسیم بودند. بیش‌ترین غلظت سیلیسیم قابل‌دسترس خاک مربوط به تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK)، زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر (RSB+NP) و زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر (RSB+P) بود که بین این تیمارها و تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر و پتاسیم (RSB+PK) و زغال زیستی کاه برنج (RSB) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین تیمارهایی که زغال زیستی اضافه شده بود، تیمارهای دارای زغال زیستی چوب نراد، کم‌ترین غلظت سیلیسیم را داشتند، که می‌تواند به دلیل غلظت کم سیلیسیم قابل‌دسترس زغال زیستی چوب نراد نسبت به دیگر زغال‌های زیستی باشد. زغال زیستی تولید شده از مواد اولیه مختلف می‌تواند به عنوان یک منبع سیلیسیم در نظر گرفته شود (۷). زغال زیستی می‌تواند سبب بهبود مقدار سیلیسیم قابل‌دسترس گیاه در خاک شود (۸).

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت نیتروژن و فسفر خاک در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. تیمارهای زغال زیستی نسبت به تیمارهای کود شیمیایی و شاهد سبب افزایش بیش‌تر غلظت نیتروژن کل و فسفر قابل‌دسترس خاک شدند. در بین زغال‌های زیستی، زغال زیستی کاه برنج و باگاس نیشکر نسبت به زغال‌های زیستی دیگر تأثیر بیش‌تری در افزایش غلظت نیتروژن کل خاک داشتند. به‌طور کلی بین تیمارها، تیمار زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) بیش‌ترین غلظت نیتروژن خاک را داشت. به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد ۳۲۰ درصد غلظت نیتروژن خاک را

افزایش داد. این افزایش می‌تواند به دلیل غلظت بالای نیتروژن زغال زیستی نسبت به خاک شاهد و هم‌چنین غنی‌سازی زغال زیستی با کود نیتروژن (اوره) باشد. کم‌ترین غلظت نیتروژن خاک مربوط به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی بود. پژوهش‌ها نشان داده است که زغال زیستی موجب تغییر پویایی نیتروژن در خاک می‌شود (١٦). هم‌چنین با افزایش سطوح کاربرد زغال زیستی، نیتروژن خاک افزایش یافت (١٧). در دسترس بودن و سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در زغال زیستی افزوده شده در خاک، نشان‌دهنده توانایی زغال زیستی در آزادسازی تدریجی نیتروژن موجود در کود است (١٨). در مطالعه‌ای گزارش شد که نیتروژن کل خاک در زمان کاربرد زغال زیستی ٧/٢ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (٢٩). زغال زیستی کارایی استفاده از کود نیتروژن را بهبود بخشید (٣٠).

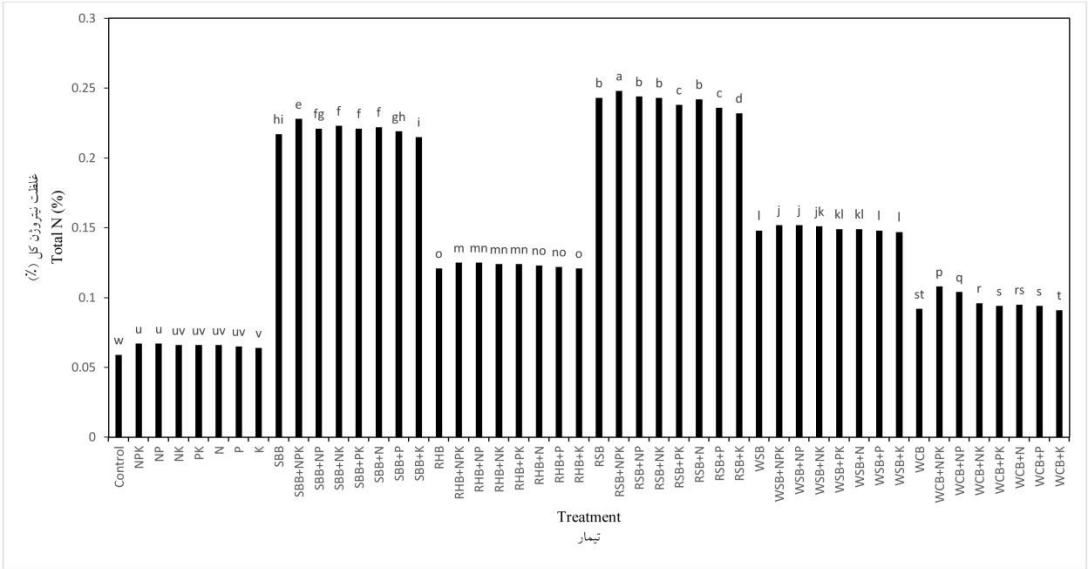
نتایج نشان داد بیش‌ترین غلظت فسفر قابل‌دسترس خاک مربوط به تیمار زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) بود که بین این تیمار و تیمار زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ٣). هم‌چنین بین تیمارهای زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK)، زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن و فسفر (RSB+NP)، زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر (RSB+NP) و زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر (RSB+P) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کم‌ترین غلظت فسفر خاک مربوط به تیمارهای شاهد و سپس کود شیمیایی پتاسیم (K) بود، که بین این دو تیمار اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. غلظت فسفر قابل‌دسترس خاک بعد از افزودن زغال زیستی افزایش می‌یابد، به این علت که در طی فرایند تولید زغال زیستی، میزان فسفر محلول افزایش می‌یابد (١٩) و فسفر می‌تواند وقتی که زغال زیستی به عنوان اصلاح‌کننده استفاده گردد، رها شود. افزودن زغال زیستی به خاک سبب افزایش فراهمی فسفر نیز می‌گردد (١٣). کاربرد زغال زیستی پوسته برنج سبب افزایش معنی‌دار فسفر قابل‌جذب شد (٣١). کاربرد سطوح مختلف زغال زیستی بقایای ذرت سبب افزایش فسفر اولسن قابل‌دسترس شد (٣٢). زغال زیستی می‌تواند به عنوان یک منبع فسفر درنظر گرفته شود (٣٣).

با توجه به شکل ٤، بیش‌ترین غلظت پتاسیم خاک مربوط به تیمار زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) بود. بین این تیمار و بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد ٤٦٢ درصد غلظت پتاسیم قابل‌دسترس خاک را افزایش داد. تیمارهای زغال زیستی به تنهایی و به همراه کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی افزایش بیش‌تر پتاسیم خاک را نشان داد. در بین تیمارهای زغال زیستی، زغال زیستی کاه برنج بیش‌ترین و زغال زیستی چوب نراد کم‌ترین مقدار پتاسیم را دارا بود که می‌تواند به دلیل غلظت بیش‌تر پتاسیم زغال زیستی کاه برنج نسبت به زغال زیستی چوب نراد باشد. مصرف زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول و تبادلی گردید (٣٤). کاربرد زغال زیستی سبب افزایش نیتروژن کل، میزان مواد آلی خاک، فسفر و پتاسیم شد (١٤). بررسی اثرات زغال زیستی روی یک خاک لوم رسی نشان داد که کاربرد زغال زیستی پتاسیم خاک را به مقدار بسیار زیادی افزایش داد به‌طوری‌که کاربرد ٣٠ گرم زغال زیستی در کیلوگرم خاک، پتاسیم خاک را ١٤٠ درصد افزایش داد (٢٠).



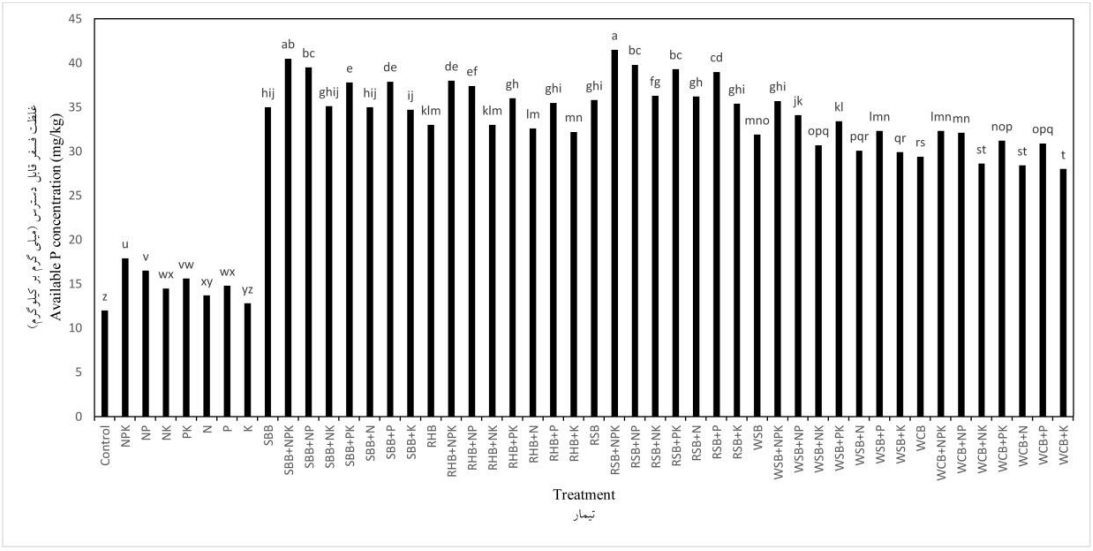
شکل ۱- تأثیر تیمارها بر غلظت سیلیسیم خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 1. Mean comparison for the effect of treatments on soil silicon, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



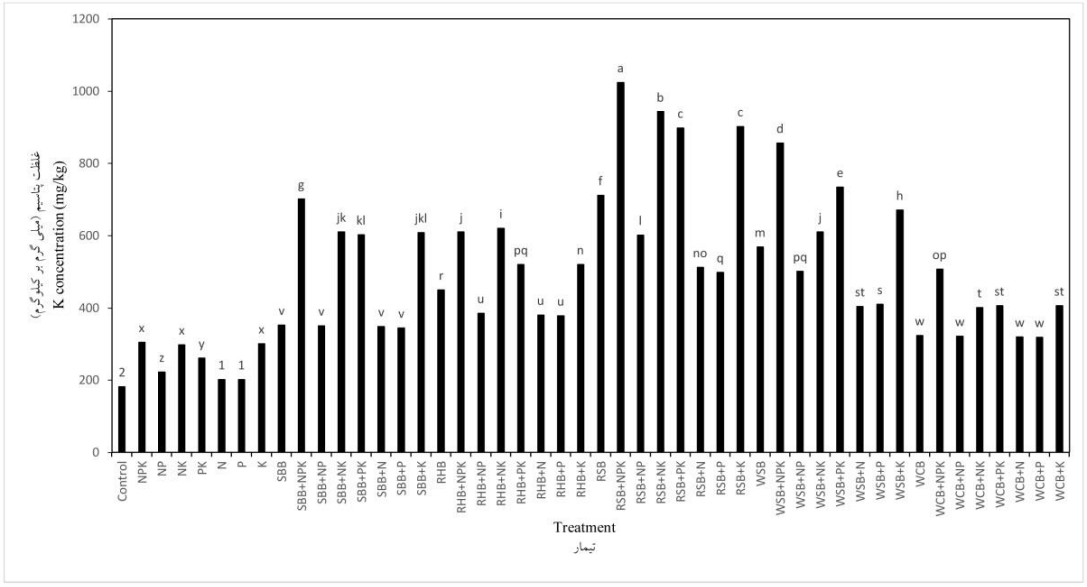
شکل ۲- تأثیر تیمارها بر غلظت نیتروژن کل خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 2. Mean comparison for the effect of treatments on total soil nitrogen, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



شکل ۳- تأثیر تیمارها بر غلظت فسفر قابل‌دسترس خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 3. Mean comparison for the effect of treatments on soil available phosphorus, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



شکل ٤- تأثیر تیمارها بر غلظت پتاسیم خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 4. Mean comparison for the effect of treatments on soil potassium, the same letters show no significant differences at the level of 5%.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر زغال زیستی و کود شیمیایی بر غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل زغال زیستی و و کود شیمیایی بر غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی معنی‌دار شد (جدول ٤).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت برخی عناصر غذایی کم‌مصرف خاک.

Table 4. Analysis of variance of the effect of treatments on the concentration of some micronutrients in soil.

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degree of Freedom	میانگین مربعات Mean of Squares			
		آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn
زغال زیستی Biochar (B)	5	2266.13**	410.984**	2.05260**	17.7901**
کود شیمیایی Fertilizer (F)	7	11.01**	3.257**	0.01405**	0.1128**
زغال زیستی × کود شیمیایی B*F	35	0.26*	0.211**	0.00090 **	0.0102**
خطا Error	94	0.17	0.103	0.00039	0.0029
ضریب تغییرات (درصد) CV%		1.83	2.73	1.45	3.24

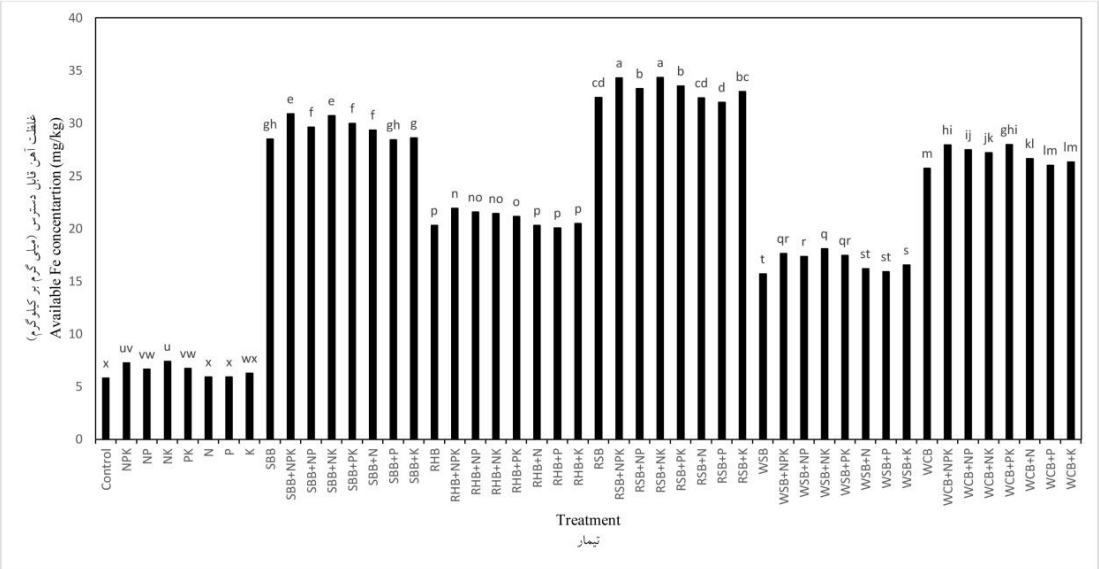
* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** are significant at the probability levels of 5 and 1%, respectively

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیش‌ترین غلظت آهن قابل‌دسترس خاک مربوط به تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) و زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و پتاسیم (RSB+NK) بود (شکل ۵). بین این تیمارها و بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در بین تیمارهایی که زغال زیستی اضافه شد، زغال زیستی کاه برنج بیش‌ترین و زغال زیستی کاه گندم کم‌ترین غلظت آهن را دارا بود. با توجه به شکل ٦ تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (RSB+NPK) و زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و پتاسیم (RSB+NK) بیش‌ترین غلظت منگنز خاک را داشتند. بین این تیمارها و تیمارهای زغال زیستی کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر (RSB+NP) و زغال زیستی کاه برنج به همراه فسفر و پتاسیم (RSB+PK) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین تیمارها، کم‌ترین غلظت منگنز مربوط به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی بود. در پژوهشی مشاهده شد که بعد از تبدیل شدن زیست‌توده به زغال زیستی، غلظت آهن و منگنز تغییر چندانی نکرد (۲۱). بیش‌ترین مقدار آهن در زغال زیستی تولید شده از بستر مرغ، پوسته بادام‌زمینی و خرده‌های کاج مربوط به بستر مرغ با میزان ۳/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود درحالی‌که کم‌ترین مقدار آهن در زغال زیستی تولید شده از پوسته بادام‌زمینی و خرده‌های کاج به ترتیب با میزان ۰/٤۲ ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۳۵). کاربرد زغال زیستی تولید شده از پوسته گردو پس از دوره ٦۷ روزه در خاک غلظت منگنز خاک را افزایش داد (۳٦). نتایج پژوهشی نشان داد، در اثر افزودن

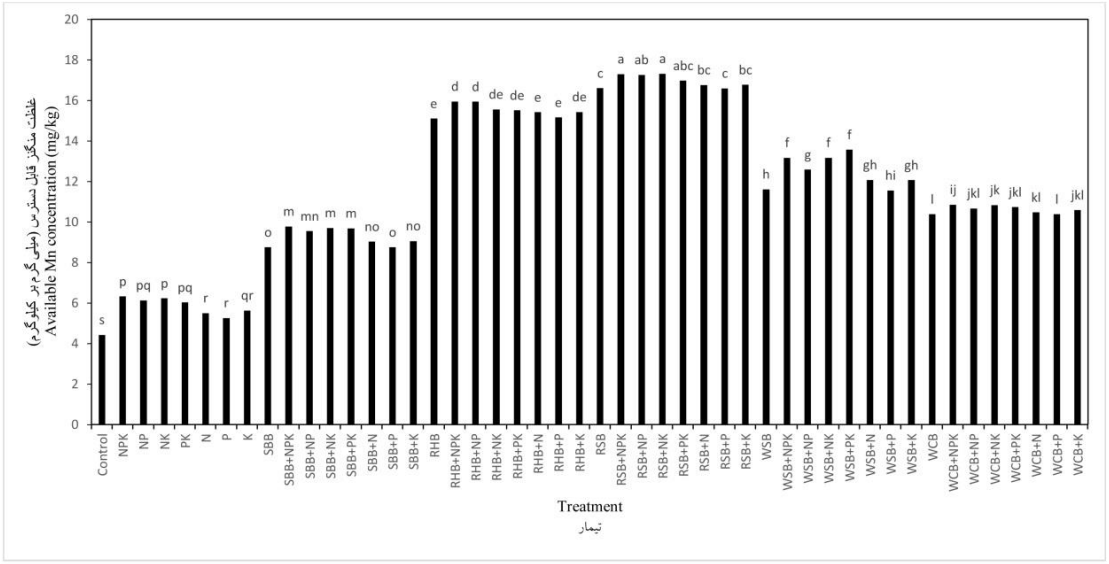
زغال زیستی به یک خاک آهکی غلظت منگنز افزایش یافت(۳۷).

با توجه به شکل ۷ تیمارهای زغال زیستی و زغال زیستی به همراه کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی بیش‌ترین غلظت مس خاک را دارا بودند. بیش‌ترین غلظت مس مربوط به تیمار زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (BSB+NPK) بود، به‌طوری‌که بین این تیمار و تیمار زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن و فسفر (BSB+NP) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین زغال‌های زیستی، زغال زیستی باگاس نیشکر بیش‌ترین و زغال زیستی چوب نراد کم‌ترین غلظت مس خاک را دارا بودند (شکل ۷). با توجه به نتایج مقایسه میانگین شکل ۸، بیش‌ترین غلظت روی خاک مربوط به تیمار زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم (BSB+NPK) بود که بین این تیمار و تیمار زغال زیستی باگاس نیشکر به همراه نیتروژن و فسفر (BSB+NP) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین تیمارهای زغال زیستی، زغال زیستی باگاس نیشکر بیش‌ترین و زغال زیستی پوسته برنج کم‌ترین غلظت روی خاک را داشتند. تیمارهایی که زغال زیستی اضافه شد، نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی افزایش غلظت روی خاک را نشان داد (شکل ۸). با افزودن زغال زیستی تولید شده در دمای پایین، غلظت عناصر آهن، مس و روی قابل‌دسترس خاک افزایش معنی‌داری نشان داد (۳۸). عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) با افزایش کاربرد زغال زیستی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت که به‌دلیل میزان بالای این عناصر در زغال زیستی بوده است (۳۵). کاربرد زغال زیستی با افزایش مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک سبب افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک می‌شود (۵).



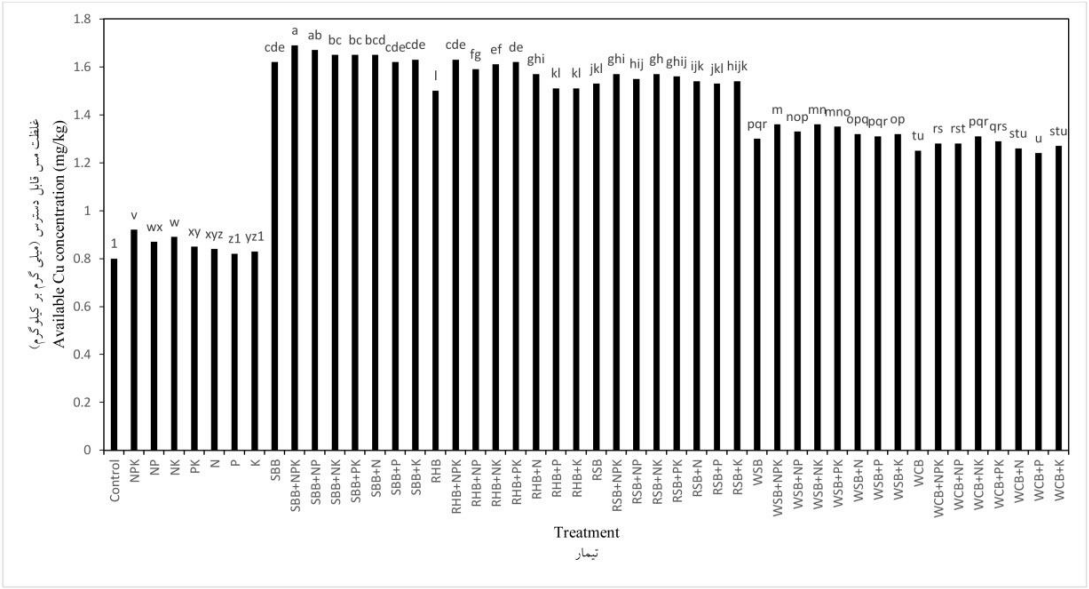
شکل ۵- تأثیر تیمارها بر غلظت آهن قابل‌دسترس خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 5. Mean comparison for the effect of treatments on soil available iron, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



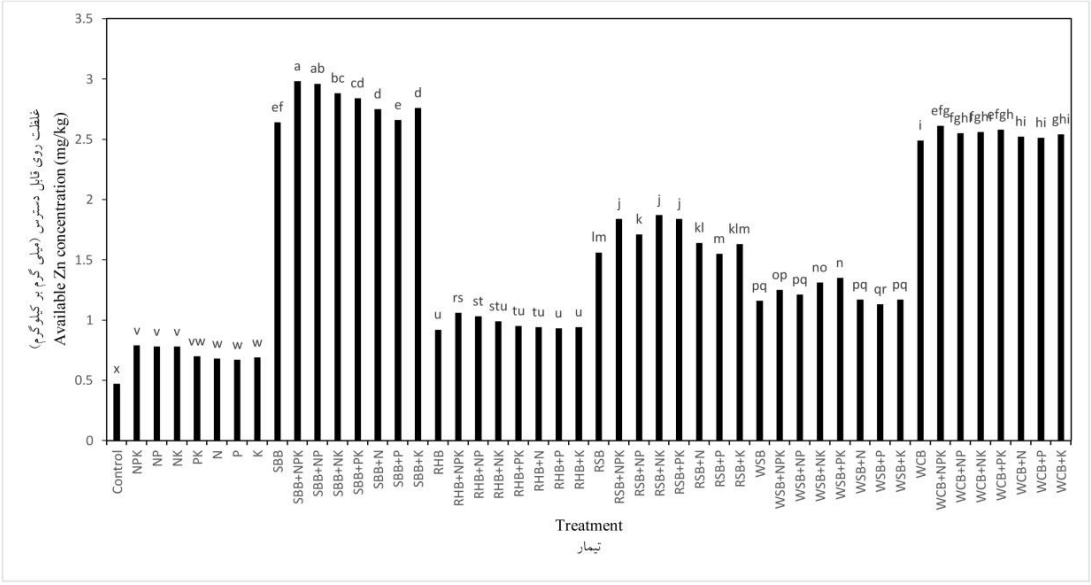
شکل ٦- تأثیر تیمارها بر غلظت منگنز قابل‌دسترس خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 6. Mean comparison for the effect of treatments on soil available manganese, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



شکل ۷- تأثیر تیمارها بر غلظت مس قابل‌دسترس خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 7. Mean comparison for the effect of treatments on soil available copper, the same letters show no significant differences at the level of 5%.



شکل ۸- تأثیر تیمارها بر غلظت روی قابل‌دسترس خاک، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 8. Mean comparison for the effect of treatments on soil available zinc, the same letters show no significant differences at the level of 5%.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از هر یک از انواع زغال زیستی به تنهایی، نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی سبب افزایش غلظت عناصر سیلیسیم، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی خاک شد. هم‌چنین کاربرد زغال‌های زیستی به همراه کود شیمیایی سبب افزایش بیش‌تر غلظت این عناصر در خاک شد. در بین زغال‌های زیستی، زغال‌های زیستی کاه برنج، باگاس نیشکر و پوسته برنج عملکرد بهتری در افزایش غلظت عناصر غذایی قابل‌دسترس در خاک داشتند. با توجه اثر مستقیم غلظت بالای این عناصر در زغال‌های زیستی و هم‌چنین تأثیر غیرمستقیم زغال‌های زیستی که احتمالاً موجب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شوند، کاربرد زغال زیستی بسته به مواد اولیه برای تولید آن، می‌تواند سبب افزایش غلظت قابل‌دسترس عناصر سیلیسیم، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی در خاک‌های دارای بافت لوم رسی سیلتی مزارع نیشکر استان خوزستان شود.

منابع

1. Kimetu, J., Lehmann, J., Ngoze, S., Mugendi, D., Kinyangi, J., Riha, S., Verchot, L., Recha, J., and Pell, A. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. Ecosystems. 11: 726-739.
2. Wang, J., Xiong, Z., and Kuzyakov, Y. 2016. Biochar stability in soil: metal analysis of decomposition and priming effects. Gcb Bioenergy. 8: 3. 512-523.
3. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy. 34: 4. 231-238.
4. Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A., and Kathuria, A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. Journal of Environmental Quality. 39: 1224-1235.

5.Masulili, A., and Utomo, W.H. 2010. Rice husk biochar for rice raised cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan. Indonesia. Agricultural Science. 2: 1. 39-47.
6.Song, A.L., Ning, D.F., Fan, F.L., Li, Z.J., Provance-Bowley, M., and Liang, Y.C. 2015. The potential for carbon bio-sequestration in China's paddy rice (*Oryza sativa* L.) as impacted by slag-based silicate fertilizer. Scientific Report. 5: 1-12.
7.Houben, D., Sonnet, P., and Cornelis, J.T. 2013. Biochar from Miscanthus: a potential silicon fertilizer. Plant Soil. 374: 871-882.
8.Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J., and Ok, Y.S. 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. Ecotoxicology and Environmental Safety. 140: 37-47.
9.Xiao, X., Chen, B., and Zhu, L. 2014. Transformation, morphology, and dissolution of silicon and carbon in rice straw-derived biochars under different pyrolytic temperatures. Environmental Science & Technology. 48: 3411-3419.
10.Sadegh-Zadeh, F., Fallah Tolekolai, S., Bahmanyar, M.A., and Emadi, M. 2018. Application of biochar and compost for enhancement of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in calcareous sandy soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49: 5. 552-566.
11.Divband Hafshejani, L., Naseri, A.A., Hooshmand, A., Abbasi, F., and Sultani Mohammadi, A. 2017. Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil. Journal of Irrigation Science and Engineering. 40: 1. 63-72. (In Persian)
12.Rasuli, F., Owliaie, H., Najafi-Ghiri, M., and Adhami, E. 2021. Effect of biochar on potassium fractions and plant-available P, Fe, Zn, Mn and Cu concentrations of calcareous soils. Arid Land Research and Management, pp. 1-26.
13.Laird, D.A., Fleming, P.D., Karlen, D.L., Wang, B., and Horton, R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma. 158: 436-442.
14.Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., and Ram, L.C. 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. Catena. 111: 64-71.
15.Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2013. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant Soil. 333: 1-2. 117-128.
16.Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and Environment. 5: 38-387.
17.Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research. 45: 629-634.
18.Chan, K.Y., and Xu, Z. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann, J. and Joseph, S., Eds., Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan. London. pp. 67-84.
19.Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E. and Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. P 47-82. In Advances in Agronomy. Publisher Elsevier Academic Press Inc., ISSN 0065-2213, San Diego, CA-92101-4495, USA.
20.Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J., and Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with biochar additions. Biology and Fertility of Soils. 43: 699-708.
21.Amonette, J.E., and Joseph, S. 2009. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. P 33-52. In: J. Lehmann, and S. Joseph, S., (eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan. London.

22.D5142. 2009. Standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials. 5p.
23.Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430. In Methods of Soil Analysis, A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, (eds.), Part 2, 2nd ed. USA: Am. Soc. Agron., Madison, WI.
24.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sciences Social American Journal. 42: 421-28.
25.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1980. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. Journal Association Office Analysis Chemical. 63: 770-78.
26.Rahoads, J.D., Ingvabon, R.D., and Hatcher, D.D. 1970. Labortory determination Leacheable soil boron. Soil Science Socitey of America Journal. 34: 871-875.
27.Westeman, R.E.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison. pp. 534-578.
28.Haysom, M.B.C., and Chapman, L.S. 1975. Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay, Proceedings of the Queensland Society of Sugar Cane Technology. 42: 117-22.
29.Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., and Zech, W. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 171: 893-899.
30.Xia, H., Riaz, M., Zhang, M., Liu, B., El-Desouki, Z., and Jiang, C. 2020. Biochar increases nitrogen use efficiency of maize by relieving aluminum toxicity and improving soil quality in acidic soil, Ecotoxicology and Environmental Safety. 196: 110531.
31.Sujana, I.P., Lanya, I., Subadiyasa, I.N.N., and Suarna, I.W. 2014. The effect of dose biochar and organic matters on soil characteristic and corn plants growth on the land degraded by garment liquid waste. Journal of Biology. Agriculture and Healthcare. 4: 5. 77-88.
32.Zhai, L., CaiJi, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., and Liu, H. 2015. Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. Biology and Fertility of Soils, 51: 1. 113-122.
33.Manolikaki, I.I., Mangolis, A., and Diamadopoulos, E. 2016. The impact of biochars prepared from agricultural residues on phosphorus release and availability in two fertile soils Journal of Environmental Management. 181: 536-543.
34.Najafi-Ghiri, M. 2014. Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. Journal of Soil Research. 29: 3. 351-358. (In Persian)
35.Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., and Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the (American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN) ASABE. 51: 6. 2061-2069.
36.Novak, J.M., Busscher, J.W., Laird, D.L., Ahmedna, D.W., Watts, M.A., and Niandou, S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science. 174: 105-112.
37.Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M.H., and Sepehr, E. 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. Journal of Water and Soil. 31: 4. 1232-1246. (In Persian)
38.Karimi, A., Moezzi, A., Charm, M., and Enayati Zamir, N. 2020. Effect of sugarcane bagasse biochar on nutrient availability and biological characteristics in a calcareous soil. Applied Soil Research. 89: 1. 1-17. (In Persian)