

## Effect of Application of Biochar and Wood Vinegar on Some Chemical and Microbiological Properties of Soil under Forage Corn Cultivation

Nasrin Karimian Shamsabadi<sup>1</sup>, Shoja Ghorbani Dashtaki<sup>\*2</sup>,  
Hamidreza Motaghian<sup>3</sup>, Ramin Iranipour<sup>4</sup>, Bijan Khalili Moghadam<sup>5</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of ShahreKord, Shahre Kord, Iran. E-mail: [karimian.nasrin1368@gmail.com](mailto:karimian.nasrin1368@gmail.com)
2. Corresponding Author, Dept. of Soil Science, University of ShahreKord, ShahreKord, Iran. E-mail: [shoja2002@yahoo.com](mailto:shoja2002@yahoo.com)
3. Dept. of Soil Science, University of ShahreKord, ShahreKord, Iran. E-mail: [motaghian.h@yahoo.com](mailto:motaghian.h@yahoo.com)
4. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Chaharmahal va Bakhtiari, ShahreKord, Iran. E-mail: [ramin.iranipour@gmail.com](mailto:ramin.iranipour@gmail.com)
5. Dept. of Soil Science, University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: [moghaddam623@yahoo.com](mailto:moghaddam623@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 07.26.2022  
Revised: 10.23.2022  
Accepted: 11.05.2022

### Keywords:

Biochar,  
Microbial Biomass Carbon,  
Pyrolysis,  
Wood Vinegar

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Different agricultural policies tend to minimize the environmental risks caused by the continuous use of pesticides and other synthetic chemicals and look for alternative methods. Wood vinegar and biochar can be used in organic agriculture as soil conditioners. This study aimed to investigate the effect of biochar and wood vinegar on some chemical and microbiological properties of soil under forage corn cultivation.

**Materials and Methods:** For this purpose, a research was carried out in greenhouse condition. The experiment was a factorial experiment in a completely randomized design in 3 replications. The studied treatments include wood vinegar in 6 amounts of zero ( $W_0$ ), 0.02 ( $W_1$ ), 0.04 ( $W_2$ ), 0.1 ( $W_3$ ), 0.2 ( $W_4$ ), and 0.4 ( $W_5$ ) g/Kg (first factor) and soil conditioner including raw material (wood of pomegranate and plum trees) in 2 levels 1% ( $B_{01}$ ) and 2% ( $B_{02}$ ) amounts and biochar (biochar prepared from pomegranate and plum trees at temperature 450 °C) was applied at 2 levels of 1% ( $B_1$ ) and 2% ( $B_2$ ) amounts (second factor). The chemical properties of the soils such as soil acidity (pH), electrical conductivity (EC), soil organic carbon (OC), total nitrogen (TN), soluble sodium ( $Na^+$ ), soluble potassium ( $K^+$ ), soluble calcium ( $Ca^{+2}$ ), soluble magnesium ( $Mg^{+2}$ ) and available phosphorous (P); and the soil microbiological properties including basal respiration and microbial biomass carbon and the physical characteristics of forage corn such as height, stem diameter, dry weight, and wet weight were measured.

**Results:** The results showed that co-application of conditioner and wood vinegar increased soil acidity (5.3%), electrical conductivity (EC), soluble calcium ( $Ca^{+2}$ ), soluble magnesium ( $Mg^{+2}$ ), organic carbon (OC), basal respiration, and microbial biomass carbon. The most significant increase in electrical conductivity (EC), soluble calcium ( $Ca^{+2}$ ), soluble magnesium ( $Mg^{+2}$ ), and organic carbon (OC) were observed in  $W_5B_2$  treatment, which were 5.3, 3.9, 2.2, 3.6, and 7.2 times more than the control. Also, the basal respiration with the highest amount of emitted  $CO_2$  during one month of incubation in all three times intervals was observed in  $W_5B_2$  treatment. So that in the first, second, and third ten days, the rate of soil microbial respiration in  $W_5B_2$  treatment was observed 6.91, 6.54, and 6.4 times more

---

---

than the control, respectively. The co-application of wood vinegar and biochar led to increase in the stem diameter, dry weight, and wet weight of the plant. In contrast, the co-application of wood vinegar and the soil conditioner decreased the plant's stem diameter, wet and dry weight compared to the control. Addition of conditioner material alone increased soluble sodium ( $\text{Na}^+$ ), soluble potassium ( $\text{K}^+$ ), Fe, Cu, Zn, and Mn, while decreasing total nitrogen (TN) and available phosphorous (P).

**Conclusion:** The results illustrated that the effect of using biochar and wood vinegar on increasing, the concentration of elements and improving the qualitative characteristics of soil and plants depends on the amount of nutrients, organic carbon in biochar and wood vinegar, soil acidity and their consumption. Considering the positive effect of biochar and wood vinegar on increasing soil organic carbon, increasing the availability of nutrients, stimulating soil microbial activity and increasing plant growth, it is recommended to use biochar and wood vinegar in calcareous soils of Iran.

---

Cite this article: Karimian Shamsabadi, Nasrin, Ghorbani Dashtaki, Shoja, Motaghian, Hamidreza, Iranipour, Ramin, Khalili Moghadam, Bijan. 2022. Effect of Application of Biochar and Wood Vinegar on Some Chemical and Microbiological Properties of Soil under Forage Corn Cultivation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (3), 23-44.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20460.3575

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تأثیر کاربرد زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای

نسرین کریمیان شمس‌آبادی<sup>۱</sup> (ID)، شجاع قربانی دشتکی<sup>۲\*</sup> (ID)، حمیدرضا متقیان<sup>۳</sup> (ID)،  
رامین ایرانی‌پور<sup>۴</sup> (ID)، بیژن خلیلی‌مقدم<sup>۵</sup> (ID)

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [karimian.nasrin1368@gmail.com](mailto:karimian.nasrin1368@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [shoja2002@yahoo.com](mailto:shoja2002@yahoo.com)
۳. گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [motaghian.h@yahoo.com](mailto:motaghian.h@yahoo.com)
۴. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران. رایانامه: [ramin.iranipour@gmail.com](mailto:ramin.iranipour@gmail.com)
۵. گروه علوم خاک، دانشگاه خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: [moghaddam623@yahoo.com](mailto:moghaddam623@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: سیاست‌های مختلف کشاورزی خواستار به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده مداوم از سموم دفع آفات و سایر مواد شیمیایی مصنوعی و به‌دنبال روش‌های جایگزین هستند. سرکه چوب و زغال زیستی می‌توانند در کشاورزی ارگانیک و به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک استفاده شود. هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای بود.
تاریخ دریافت: ۰۱/۰۵/۰۴	
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۸/۰۱	
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۸/۱۴	
واژه‌های کلیدی: زغال زیستی، سرکه چوب، کربن زیست‌توده میکروبی، گرماکافت	مواد و روش‌ها: بدین‌منظور پژوهشی در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای موردبررسی شامل سرکه چوب در شش مقدار صفر ( $W_0$ )، $0/02$ ( $W_1$ )، $0/04$ ( $W_2$ )، $0/1$ ( $W_3$ )، $0/2$ ( $W_4$ ) و $0/4$ ( $W_5$ ) گرم در کیلوگرم (فاکتور اول) و ماده اصلاحی شامل ماده خام (چوب درختان انار و آلو) در دو سطح یک ( $B_01$ ) و دو ( $B_02$ ) درصد جرمی و زغال زیستی (زغال زیستی تهیه‌شده از چوب درختان انار و آلو در دمای $450$ درجه سانتی‌گراد) در دو سطح یک ( $B_1$ ) و دو ( $B_2$ ) درصد جرمی (فاکتور دوم) اعمال شد. خصوصیات شیمیایی مانند اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، سدیم محلول، پتاسیم محلول، کلسیم محلول، منیزیم محلول و فسفر قابل استفاده، خصوصیات میکروبیولوژی خاک مانند تنفس پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک و خصوصیات ظاهری گیاه مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه ذرت علوفه‌ای نیز اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد با کاربرد هم‌زمان سرکه چوب و ماده اصلاحی، pH (۰/۵/۳)، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، کلسیم محلول، منیزیم محلول، تنفس پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک افزایش یافت. بیش‌ترین افزایش قابلیت هدایت الکتریکی، کلسیم محلول، منیزیم محلول و کربن آلی خاک در تیمار W<sub>5</sub>B<sub>2</sub> بود که نسبت به شاهد ۵/۳، ۳/۹، ۲/۲ و ۳/۶ برابر شد. هم‌چنین تنفس پایه طی یک ماه انکوباسیون در هر سه فاصله زمانی بیش‌ترین مقدار CO<sub>2</sub> متصاعد شده مربوط به تیمار W<sub>5</sub>B<sub>2</sub> بود. به‌طوری‌که در ۱۰ روز اول، دوم و سوم میزان تنفس میکروبی خاک در تیمار W<sub>5</sub>B<sub>2</sub> به ترتیب ۶/۹۱، ۶/۵۴ و ۶/۴ برابر بیش‌تر از شاهد شد. در گیاه نیز استفاده هم‌زمان سرکه چوب و زغال زیستی باعث افزایش قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه گردید. درحالی‌که کاربرد توأم سرکه چوب و ماده خام باعث کاهش قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه در مقایسه با شاهد شد. کاربرد ماده اصلاحی به‌تنهایی نیز باعث افزایش سدیم محلول، پتاسیم محلول، آهن، مس، روی، منگنز و کاهش فسفر قابل‌استفاده و نیتروژن کل خاک گردید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد، تأثیر کاربرد زغال زیستی و سرکه چوب بر افزایش غلظت عناصر و بهبود ویژگی‌های کیفی خاک و گیاه به مقدار عناصر غذایی، کربن آلی موجود در زغال زیستی و سرکه چوب، pH خاک و مقدار مصرف آن‌ها وابسته است. با توجه به تأثیر مثبت زغال زیستی و سرکه چوب بر افزایش کربن آلی خاک، افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی، تحریک فعالیت میکروبی خاک و افزایش رشد گیاه استفاده از زغال زیستی و سرکه چوب در خاک‌های آهکی ایران توصیه می‌شود.

**استناد:** کریمیان شمس‌آبادی، نسرین، قربانی دشتکی، شجاع، متقیان، حمیدرضا، ایرانی‌پور، رامین، خلیلی‌مقدم، بیژن (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک زیرکشت ذرت علوفه‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۳)، ۴۴-۲۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20460.3575



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

وجود بقایای گیاهی بعد از برداشت محصولات زراعی مشکلات زیادی برای کشاورزان به وجود می‌آورد. اخیراً گرماکافت<sup>۱</sup> بقایای گیاهی به‌عنوان یک راهکار جهت استفاده از بقایای گیاهی موردتوجه قرار گرفته است (۱). فرایند گرماکافت، تجزیه زیست‌توده در اثر حرارت در شرایط بدون اکسیژن یا با مقادیر جزئی اکسیژن بوده و بخش جامد باقی‌مانده در این فرایند به زغال زیستی<sup>۲</sup> معروف است (۲). سرکه چوب<sup>۳</sup> مایعی چسبناک و اسیدی بوده (۳) که طی فرایند سرد و مایع کردن گازهای حاصل از گرماکافت زغال چوب به‌دست می‌آید (۴). محصولات گرماکافت مانند سرکه چوب (۵) و زغال زیستی (۶) می‌تواند جهت اصلاح خاک و کشاورزی ارگانیک کاربردی باشند.

کاربرد زغال زیستی در خاک‌های کشاورزی باعث افزایش ماده آلی، نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تأثیر بر چرخه مواد غذایی خاک از طریق تأثیر بر اسیدیته خاک و کاهش شستشوی عناصر غذایی (۷)، بهبود ساختمان خاک (۸)، افزایش زیست‌توده میکروبی، فراهمی عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (۹).

سرکه چوب شامل عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از جمله پتاسیم، کلسیم، مس، آهن، منگنز، روی، مولیبدنیوم، فسفر و غیره است (۱۰). بیش‌تر این عناصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه و افزایش فتوسنتز مؤثر هستند. حضور اسید استیک در کنار کاتیون‌های کلسیم و آهن منجر به تشکیل کمپلکس محلول آن‌ها شده و مانع آیشویی این عناصر می‌شود (۱۱). هم‌چنین از این ماده برای کنترل آفات، بهبود کیفیت خاک (۶) و تسریع رشد گیاه (۱۲)، تخمیر کمپوست و به‌عنوان

- 1- Pyrolysis
- 2- Biochar
- 3- Wood Vinegar

اصلاح‌کننده آلی جهت کاهش آلودگی (۸) استفاده می‌شود.

مرادی و همکاران (۲۰۱۷)، به‌منظور بررسی تأثیر زغال زیستی بر برخی ویژگی‌های خاک آهکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا کردند که فاکتورهای آزمایشی شامل نوع زغال زیستی (ضایعات هرس سیب، هرس انگور، کاه و کلش گندم) و مقدار زغال زیستی (صفر، یک، دو، چهار و هشت درصد وزنی) بودند و نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شده، سپس برخی ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شد. نتایج آن‌ها نشان داد، تیمارهای زغال زیستی باعث تغییر بعضی ویژگی‌های خاک مانند کربن آلی خاک، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف می‌شود. زغال زیستی حاصل از کاه و کلش گندم در مقدار هشت درصد در مقایسه با زغال زیستی حاصل از ضایعات هرس سیب و انگور مقدار کربن آلی خاک، پتاسیم و فسفر قابل‌استفاده خاک را بیش‌تر افزایش داد. مقدار ازت نیتراتی و ازت آمونیومی در هر تیمار زغال زیستی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین بیوچارهای حاصل از کاه و کلش گندم، با افزایش مقدار سبب افزایش منگنز قابل‌استفاده و کاهش آهن قابل‌استفاده خاک شد (۱۳).

ایپولیتو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند، کاربرد زغال زیستی در خاک‌های آهکی باعث بهبود خصوصیت فیزیکی و شیمیایی خاک شد. هم‌چنین با افزایش کاربرد زغال زیستی، در دسترس بودن عناصر غذایی خاک مانند روی، منگنز و مس افزایش یافت (۱۴). خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی تأثیر زغال زیستی ذرت بر ویژگی‌های شیمیایی و میکروبیولوژی دو خاک آهکی و رسی اعلام نمودند

Mefenacet+pyrazosulfuron-ethyl (MPE) و Betazone+cyhalofop-butyl (BCD) در مقادیر ۱۰۰ و ۵۰ درصد با سرکه چوب و سرکه برنج با رقت ۵۰۰ بار بر ویژگی‌های شیمیایی خاک اسیدی متوسط با ماده آلی بالا بیان کردند، اسیدیته خاک پس از برداشت محصول برنج نسبت به اسیدیته اولیه به سمت اسیدی تغییر یافت. هدایت الکتریکی خاک در همه تیمارها بعد از برداشت محصول برنج کاهش یافت. درصد ماده آلی، نیتروژن کل خاک و میزان فسفر قابل‌دسترس نیز پس از برداشت محصول برنج نسبت به مقادیر اولیه افزایش یافت. آن‌ها بیان نمودند مخلوط کردن علف‌کش‌ها و محصولات گرماکافت (سرکه چوب و سرکه برنج) می‌تواند باعث افزایش و در دسترس بودن عناصر غذایی شد. هم‌چنین سبب به حداقل رساندن استفاده از مواد شیمیایی مصنوعی در تولید محصولات کشاورزی به منظور حفظ سلامت محیط‌زیست گردد (۱۹).

امروزه نقش سرکه چوب در بهبود کیفیت و افزایش عناصر غذایی خاک، هم‌چنین به عنوان جایگزین مواد شیمیایی در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و تأثیر زغال زیستی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به اثبات رسیده است. هم‌چنین از آنجایی‌که اغلب خاک‌های ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، دارای ماده آلی کم‌تر از یک درصد می‌باشند، این مسأله می‌تواند باعث کاهش کیفیت خاک گردد، که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند سرکه چوب و زغال زیستی می‌تواند باعث افزایش فراهمی و در دسترس بودن عناصر غذایی و بهبود کیفیت خاک شود. با این وجود، مطالعات بسیار محدودی در رابطه با تأثیر استفاده از سرکه چوب و کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب بر فراهمی عناصر غذایی خاک و ویژگی‌های بیولوژیکی خاک انجام شده است. از این‌رو هدف این پژوهش، مطالعه

مصرف بیوجار باعث افزایش pH، قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی، نیتروژن آمونیومی، پتاسیم قابل‌استفاده، تنفس ناشی از سوبسترا در مقایسه با شاهد شد، در حالی‌که نیتروژن نیتراتی و فسفر قابل‌استفاده کاهش یافت (۱۵).

فروهر و همکاران (۲۰۱۷) به منظور بررسی تأثیر سه نوع زغال زیستی کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود گاوی بر برخی خصوصیات شیمیایی و عناصر غذایی در یک خاک آهکی عنوان نمودند، افزودن زغال زیستی باعث افزایش فسفر قابل‌دسترس خاک از ۶/۴ میلی‌گرم در خاک شاهد به ۱۷/۳، ۴۰/۷ و ۲۵/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل‌دسترس از ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در نمونه شاهد به ۱۵۰، ۳۹۰ و ۸۱ میلی‌گرم تحت تأثیر زغال زیستی کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود گاوی شد (۱۶). نتایج مطالعات واحدی و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد، کاربرد ترکیبی زغال زیستی و محرک‌های رشد میکروبی اثرات مفیدی بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های آهکی ایران داشت و این تیمارها باعث بهبود در دسترس بودن و جذب عناصر غذایی خاک مانند فسفر، آهن و روی شد (۱۷).

هانگر و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر چهار تیمار زغال زیستی (۵۱ تن در هکتار)، سرکه چوب (۲۰۰۰ لیتر در هکتار)، ترکیب زغال زیستی و سرکه چوب (بدون سرکه چوب و زغال زیستی) بر برخی ویژگی‌های خاک را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، زغال زیستی باعث افزایش غلظت نیتروژن کل از ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گلدان شاهد به ۱/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش کربن آلی از ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد اما تأثیری بر کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر خاک نداشت (۱۸).

سنو و همکاران (۲۰۱۵) طی بررسی تأثیر مخلوط سه علف‌کش‌های Azimsulfuron+cafenstrole (AC)

تأثیر کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک زیرکشت ذرت علوفه‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

نمونه خاک مورد مطالعه از اراضی دانشگاه شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری برداشته شد. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک (به روش دومارتن) در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه و ۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۸ ثانیه شمالی واقع در بخش مرکزی زاگرس است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه به ترتیب زیریک و مزیک است. نمونه خاک جمع‌آوری شده، پس از هوا خشک شدن از الک چهار میلی‌متری برای پرکردن گلدان‌ها (گلدان‌های با اندازه ۲۳×۲۲ سانتی‌متر) عبور داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. تیمارها شامل سرکه چوب (حاصل جمع‌آوری و تقطیر گاز حاصل از سوختن چوب درختان انار و آلو در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نگهداری ۳ ساعت) در شش مقدار صفر  $(W_0)$ ،  $0/02$ ،  $(W_1)$ ،  $0/04$ ،  $(W_2)$ ،  $0/1$ ،  $(W_3)$ ،  $0/2$ ،  $(W_4)$  و  $0/4$  گرم در کیلوگرم (فاکتور اول) و ماده اصلاحی شامل ماده خام (چوب درختان انار و آلو) در دو سطح یک  $(B_01)$  و دو  $(B_02)$  درصد جرمی و (زغال زیستی تهیه شده از چوب درختان انار و آلو در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) در دو سطح یک  $(B_1)$  و دو  $(B_2)$  درصد جرمی (فاکتور دوم) اعمال شد. همچنین تیمار شاهد (بدون کاربرد ماده اصلاحی) نیز در نظر گرفته شد. سرکه چوب مورد استفاده طی فرآیند گرماکافت (حداکثر دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد با مدت

نگهداری سه ساعت) در نتیجه جمع‌آوری و تقطیر گاز حاصل از سوختن چوب درختان انار و آلو تولید شده است. مهم‌ترین ترکیبات آلی در سرکه چوب اسید استیک می‌باشد که سه تا هفت درصد آن و ۵۰ تا ۷۰ درصد مواد آلی آن را تشکیل می‌دهد. دیگر ترکیبات تشکیل‌دهنده سرکه چوب، آب، متانول، کتون، اتیل والرلت (استر) و غیره می‌باشد. زغال زیستی مورد استفاده نیز طی فرآیند گرماکافت به دست آمده است. شیوه عملکرد این فرآیند بدین شکل است که چوب و یا ضایعات کشاورزی (چوب آلو و انار) درون کوره‌ای با حرارت بالا (حداکثر ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد با مدت نگهداری سه ساعت) در شرایط عدم حضور اکسیژن یا به مقدار فوق‌العاده کم حرارت داده شده است.

در این مطالعه، براساس ۳۰ تیمار در سه تکرار مجموعاً از ۹۰ گلدان پلاستیکی (ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر، قطر ۲۲ سانتی‌متر) برای کشت ذرت استفاده گردید. در کف گلدان‌ها سوراخ‌هایی به منظور زهکشی ایجاد و فیلتر شنی (دانه‌بندی دو تا چهار میلی‌متر) به ضخامت دو سانتی‌متر در کف گلدان قرار داده شد و گلدان‌ها براساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه پر گردید.

جهت اعمال تیمارها، ماده خام اولیه و زغال زیستی تهیه شده پس از عبور از الک دو میلی‌متری در سطوح یک  $(B_1)$  و دو  $(B_2)$  درصد جرمی به صورت دستی با نمونه خاک کاملاً مخلوط و به گلدان‌ها منتقل گردید. همچنین مقادیر سرکه چوب برای هر گلدان محاسبه و در آب مورد نیاز برای رسیدن به ظرفیت زراعی حل و یک هفته قبل از کشت به خاک گلدان‌ها افزوده شد. تعداد پنج بذر ذرت رقم سینجنتا در ابتدا استریل (با استفاده از هیپوکلریت سدیم یک درصد)، سپس در آب خیسانده و بعد از جوانه‌زنی به گلدان‌ها منتقل و بعد از مدتی به سه عدد تنک شدند. در دوره

اندازه‌گیری و در پایان مقدار CO<sub>2</sub> متصاعد شده به صورت زیر محاسبه گردید (۲۷).

$$CO_2 - C = (B - S) \times N \times E \times 1000 / W \quad (1)$$

که در آن، CO<sub>2</sub>-C میزان کربن متصاعد شده بر حسب میلی‌گرم کربن بر کیلوگرم خاک، B میلی‌لیتر اسید مصرفی برای نمونه شاهد (بدون خاک)، S میلی‌لیتر اسید مصرفی برای نمونه خاک، N نرمالیت ه اسید، E وزن اکی‌والان کربن، W وزن خاک آون خشک و ۱۰۰۰ ضریب تبدیل گرم خاک به کیلوگرم خاک است.

هم‌چنین ویژگی‌های ظاهری گیاه مانند ارتفاع، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه نیز تعیین شد. قبل از تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی، فرضیات تجزیه واریانس شامل همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش Fisher-LSD و در سطح احتمال ۱ درصد انجام گردید.

### نتایج و بحث

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه، سرکه چوب، زغال زیستی و ماده خام اولیه را نشان می‌دهد. نمونه خاک مورد مطالعه دارای اسیدیته برابر ۷/۵، بافت لوم رسی سیلتی و براساس طبقه‌بندی سازمان خواروبار جهانی (FAO) در ردیف خاک‌های غیرشور و بدون محدودیت قرار داشت. میزان کربن آلی خاک پایین و برابر ۰/۲۲ درصد بود. هم‌چنین زغال زیستی، ماده خام اولیه و سرکه چوب کاربردی دارای اسیدیته ۸/۲، ۷/۸ و ۳/۱۱ بودند.

۱۰۰ روزه کشت ذرت، آبیاری به‌طور منظم انجام شد. هم‌چنین عناصر ضروری در خاک قبل از کشت تعیین (جدول ۱) و به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره، ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود سوپرفسفات ساده، ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم، دو میلی‌گرم بر کیلوگرم مس، چهار میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن در ابتدای کاشت گیاه و یا طی دوره رشد گیاه به گلدان‌ها اضافه شد.

پس از اتمام دوره کشت، ویژگی‌های ظاهری گیاه مانند ارتفاع، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه نیز تعیین شد. برای تعیین وزن خشک گیاه، ساقه‌های ذرت از دو سانتی‌متری بالای خاک هر گلدان برداشته و بعد از شستشو با آب مقطر، درون پاکت کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. خاک هر گلدان تخلیه و پس از حذف کامل ریشه‌ها، اسیدیته (۲۰) و هدایت الکتریکی خاک (EC) (۲۱) به ترتیب در سوسپانسیون و عصاره با نسبت ۲ به ۱ آب به خاک اندازه‌گیری شد. فسفر قابل جذب در خاک با استفاده از روش اولسن (۲۲) اندازه‌گیری شد. مقدار سدیم و پتاسیم خاک پس از عصاره‌گیری با استات آمونیوم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل ۴۱۰ (۲۵)، کلسیم و منیزیم محلول خاک به روش کمپلکسومتری و غلظت‌های قابل جذب آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب خاک با DTPA-TEA (۲۳) عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شدند. هم‌چنین کربن آلی خاک با روش والکی-بلک (۲۴) و نیتروژن کل خاک نیز به روش کلدال (۲۵) اندازه‌گیری شدند.

کربن زیست‌توده میکروبی خاک (MBC) به روش تدخین تعیین شد (۲۶). تنفس پایه به روش آندرسون (۱۹۸۲) از طریق تیتراسیون با HCl ۰/۲۵ نرمال در مدت ۳۰ روز و هر ۱۰ روز یک‌بار



جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سرکه چوب، زغال زیستی و ماده خام مورد مطالعه.

**Table 1. Some physicochemical properties of the soil, wood vinegar, biochar and raw material in the study.**

ماده خام Raw material	زغال زیستی Biochar	سرکه چوب Wood vinegar	خاک Soil	واحد Unit	ویژگی Property
-	-	-	لوم رسی سیلنی Silty clay loam	-	یافت خاک Soil texture
-	-	-	1.13	(gcm <sup>-3</sup> )	جرم مخصوص ظاهری Bulk density
7.8	8.2	3.11	7.5	-	اسیدیته (1:2) Soil Acidity
3.01	3.3	2.67	0.2	(dSm <sup>-1</sup> )	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical Conductivity
54.9	55.3	32.5	0.22	(%)	کربن آلی Organic Carbon
0.65	0.79	0.1	0.2	(%)	نیتروژن Nitrogen

متقابل کاربرد سرکه چوب و ماده اصلاحی بر اسیدیته خاک سطح احتمال یک درصد معنی دار بود.

بررسی اثر سرکه چوب و ماده اصلاحی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و فراهمی عناصر غذایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، اثر

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد ماده اصلاحی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای.

**Table 2. Results of ANOVA (mean square values) the effect of application of amend and wood vinegar on Some chemical properties of soil under forage corn cultivation.**

Zn	Mn	Fe	Cu	EC	pH	df	تیمارها Treatments
0.005	0.48	0.48	0.05	0.05*	0.06*	5	WV
0.21*	14.5*	6.2*	0.26*	0.33*	0.29*	4	A
0.006	1.10	0.54	0.02	0.004*	0.002*	20	WV* A
0.01	1.2	0.68	0.03	0.006	0.004	60	r
K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	TOC	TN	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	P	تیمارها Treatments
1	1	0.38*	0.019*	0.73*	1.77*	0.046	WV
11955*	20002*	1.48*	0.035*	21.56*	30.3*	105*	A
2	1	0.024*	0.018*	0.20*	0.16*	0.03	WV* A
5	1	0.01	0.006	0.11	0.008	0.056	r

\* معنی دار بودن در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD

\* Indicate that variances are significant at the level of 1%

خطا (r)، تیمار سرکه چوب (Wood vinegar, WV)، تیمار ماده اصلاحی (Amend, A)، نیتروژن کل (TN)، کربن آلی کل (TOC)

زیستی ۳ و ۱/۵ درصد و سرکه چوب، اسیدپتیک خاک را به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۴۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (۶).

مطابق با نتایج (جدول ۲) اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و ماده اصلاحی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که با مصرف سرکه چوب و ماده اصلاحی قابلیت هدایت الکتریکی افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار  $W_3B_2$  بود که نسبت به شاهد ۳/۹ برابر گردید و کم‌ترین افزایش قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به تیمار  $W_1B_0$  بود که ۰/۵۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۳) مرادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند با مصرف زغال زیستی حاصل از کاه و کلس گندم در مقادیر ۱، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی مقدار قابلیت هدایت الکتریکی به میزان ۱/۵۶، ۲/۱۶، ۲/۹۶ و ۴/۸۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، که علت را به قابلیت هدایت الکتریکی بالای زغال زیستی نسبت دادند (۱۳). خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزایش قابلیت هدایت الکتریکی با مصرف زغال زیستی را گزارش کرده و بیان نمودند افزودن زغال زیستی به خاک به دلیل آزادسازی عناصر که به‌طور ضعیف به ساختار زغال زیستی پیوند یافته‌اند و همچنین وجود مقدار زیادی خاکستر باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌شود (۱۵). فروهر و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش نمودند کاربرد زغال زیستی و مواد اولیه آن باعث افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد گردید (۱۶).

کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی باعث افزایش اسیدپتیک خاک در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). بیش‌ترین اسیدپتیک خاک مربوط به تیمار  $W_0B_2$  بود که نسبت به شاهد ۵/۳ درصد افزایش یافت. مرادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند در مقدار هشت درصد زغال زیستی ضایعات هرس سیب و انگور در مقایسه با تیمار شاهد، اسیدپتیک خاک به‌ترتیب ۳/۹۵ و ۳/۶۹ درصد افزایش یافت (۱۳). اسیدپتیک بالای زغال زیستی و وجود فلزات قلیایی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بخش خاکستر زغال زیستی می‌تواند باعث افزایش اسیدپتیک خاک بعد از استفاده از زغال زیستی گردد (۱۵) افزایش اسیدپتیک زغال زیستی می‌تواند به‌علت تشکیل اکسیدهای فلزی و خروج دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن هنگام گرماکافت، افزایش گروه‌های عاملی قلیایی و کاهش گروه‌های عاملی اسیدی، جدا شدن نمک‌های قلیایی از ساختار مواد آلی باشد (۱۵). مطالعات فروهر و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد با کاربرد زغال زیستی و مواد اولیه آن، اسیدپتیک خاک افزایش یافت و عنوان نمودند بسته به نوع ماده اولیه، گروه‌های عامل متفاوت می‌تواند در زغال زیستی حاصله به‌وجود آید، که روی اسیدپتیک خاک تأثیرگذار باشند (۱۶).

کم‌ترین اسیدپتیک خاک نیز مربوط به تیمار  $W_3B_0$  بود که اسیدپتیک خاک را ۲/۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. از آنجایی‌که سرکه چوب مایعی اسیدی بوده، پس از استفاده در خاک می‌تواند باعث کاهش اسیدپتیک گردد (۳، ۱۹) ولی استفاده هم‌زمان با زغال زیستی باعث افزایش اسیدپتیک خاک گردید. ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند کاربرد توأم زغال

تأثیر کاربرد زغال زیستی و سرکه چوب بر برخی ... / نسرين کریمیان شمس‌آبادی و همکاران

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر ماده اصلاحی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای.

**Table 3. Effect of application of amend and wood vinegar on Some chemical properties of soil under forage corn cultivation.**

W5	W4	W3	W2	W1	W0	تیمارها Treatments
pH						
7.34 <sup>t</sup>	7.37 <sup>t</sup>	7.41 <sup>s</sup>	7.42 <sup>s</sup>	7.45 <sup>f</sup>	7.50 <sup>q</sup>	B0
7.52 <sup>pq</sup>	7.54 <sup>op</sup>	7.55 <sup>no</sup>	7.57 <sup>mn</sup>	7.6k <sup>l</sup>	7.64 <sup>gh</sup>	B01
7.54 <sup>op</sup>	7.56 <sup>mn</sup>	7.58 <sup>lm</sup>	7.60 <sup>jk</sup>	7.61 <sup>ijk</sup>	7.68 <sup>ef</sup>	B02
7.58 <sup>lm</sup>	7.6 <sup>jkl</sup>	7.62 <sup>ij</sup>	7.66 <sup>fg</sup>	7.63 <sup>hi</sup>	7.82 <sup>b</sup>	B1
7.68 <sup>f</sup>	7.70 <sup>e</sup>	7.73 <sup>d</sup>	7.77 <sup>c</sup>	7.81 <sup>b</sup>	7.91 <sup>a</sup>	B2
EC						
0.53 <sup>po</sup>	0.52 <sup>p</sup>	0.50 <sup>p</sup>	0.43 <sup>f</sup>	0.34 <sup>s</sup>	0.22 <sup>w</sup>	B0
0.65 <sup>lki</sup>	0.64 <sup>nlk</sup>	0.61 <sup>mn</sup>	0.60 <sup>mn</sup>	0.57 <sup>mo</sup>	0.54 <sup>po</sup>	B01
0.81 <sup>ba</sup>	0.77 <sup>dc</sup>	0.72 <sup>gfe</sup>	0.71 <sup>hgfe</sup>	0.68 <sup>hik</sup>	0.69 <sup>ghi</sup>	B02
0.70 <sup>hgf</sup>	0.68 <sup>ihg</sup>	0.66 <sup>lki</sup>	0.63 <sup>nl</sup>	0.62 <sup>ln</sup>	0.58 <sup>mn</sup>	B1
0.85 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	0.79 <sup>cb</sup>	0.74 <sup>fed</sup>	0.74 <sup>de</sup>	0.71 <sup>hefg</sup>	B2
Ca <sup>2+</sup>						
5.66 <sup>ik</sup>	5.91 <sup>h</sup>	5.75 <sup>i</sup>	5.92 <sup>h</sup>	5.60 <sup>k</sup>	4.04 <sup>l</sup>	B0
7.50 <sup>e</sup>	7.49 <sup>e</sup>	7.48 <sup>e</sup>	7.42 <sup>e</sup>	7.43 <sup>e</sup>	6.60 <sup>g</sup>	B01
8.43 <sup>bc</sup>	8.44 <sup>bc</sup>	8.37 <sup>c</sup>	8.40 <sup>bc</sup>	8.42 <sup>cb</sup>	8.04 <sup>d</sup>	B02
8.03 <sup>d</sup>	7.99 <sup>d</sup>	7.98 <sup>d</sup>	7.93 <sup>d</sup>	7.93 <sup>d</sup>	7.10 <sup>f</sup>	B1
8.94 <sup>a</sup>	8.93 <sup>a</sup>	8.88 <sup>a</sup>	8.90 <sup>a</sup>	8.92 <sup>a</sup>	8.54 <sup>b</sup>	B2
Mg <sup>2+</sup>						
2.77 <sup>fg</sup>	2.76 <sup>fg</sup>	2.70 <sup>g</sup>	2.72 <sup>g</sup>	2.54 <sup>g</sup>	1.48 <sup>h</sup>	B0
2.93 <sup>fg</sup>	3.92 <sup>de</sup>	3.91 <sup>de</sup>	3.94 <sup>de</sup>	3.83 <sup>e</sup>	3.26 <sup>f</sup>	B01
4.83 <sup>bc</sup>	4.74 <sup>bc</sup>	4.73 <sup>bv</sup>	4.76 <sup>bc</sup>	4.75 <sup>cb</sup>	4.62 <sup>c</sup>	B02
4.54 <sup>c</sup>	4.52 <sup>c</sup>	4.51 <sup>c</sup>	4.55 <sup>c</sup>	4.43 <sup>dc</sup>	3.86 <sup>e</sup>	B1
5.38 <sup>a</sup>	5.37 <sup>a</sup>	5.36 <sup>a</sup>	5.35 <sup>a</sup>	5.34 <sup>a</sup>	5.22 <sup>ba</sup>	B2
TOC						
1.52 <sup>b</sup>	1.44 <sup>c</sup>	1.35 <sup>bcde</sup>	1.21 <sup>cdef</sup>	1.21 <sup>hi</sup>	1.13 <sup>j</sup>	B <sub>02</sub>
1.31 <sup>ef</sup>	1.32 <sup>e</sup>	1.31 <sup>e</sup>	1.11 <sup>j</sup>	1.18 <sup>j</sup>	1.05 <sup>k</sup>	B <sub>01</sub>
1.59 <sup>a</sup>	1.51 <sup>b</sup>	1.43 <sup>c</sup>	1.29 <sup>fg</sup>	1.28 <sup>g</sup>	1.20 <sup>hi</sup>	B <sub>2</sub>
1.39 <sup>d</sup>	1.39 <sup>d</sup>	1.29 <sup>fg</sup>	1.19 <sup>i</sup>	1.18 <sup>i</sup>	1.12 <sup>j</sup>	B <sub>1</sub>
0.94 <sup>il</sup>	0.81 <sup>m</sup>	0.73 <sup>n</sup>	0.64 <sup>o</sup>	0.61 <sup>o</sup>	0.22 <sup>p</sup>	B <sub>0</sub>

میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می‌باشند

Mean with different letters indicate a significant difference based on the 1% fisher-LSD test

واکنش خاک (pH)، کلسیم محلول (Ca<sup>2+</sup>)، منیزیم محلول (Mg<sup>2+</sup>) و کربن آلی کل (TOC)

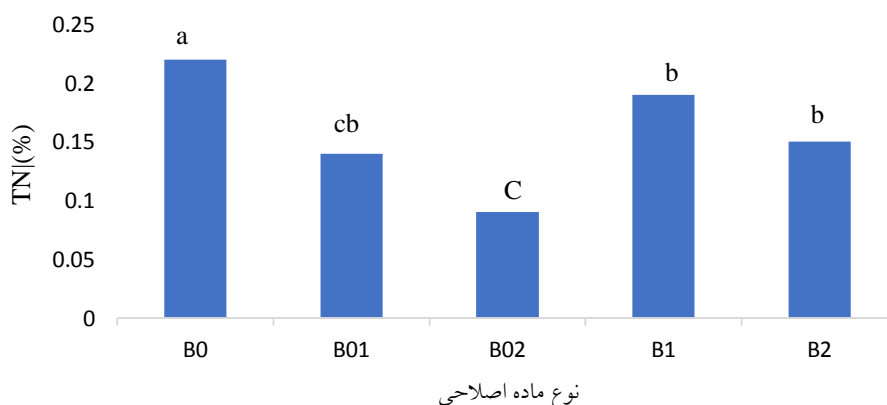
افزایش یابد (۲). هم‌چنین از آن‌جایی‌که سرکه چوب شامل عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از جمله پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غیره است (۱۰) و هم‌چنین ماهیت اسیدی داشته، باعث تنظیم pH خاک و افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک می‌گردد (۶).

مطابق با نتایج (جدول ۲) اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و زغال زیستی بر میزان کربن آلی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با مصرف سرکه چوب و ماده اصلاحی میزان کربن آلی خاک افزایش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در تیمار  $W_5B_2$  بود که نسبت به شاهد  $7/2$  برابر گردید و کم‌ترین افزایش کربن آلی خاک مربوط به تیمار  $W_1B_0$  بود که نسبت به شاهد  $2/77$  برابر گردید (جدول ۳).

ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی به دلیل غنی بودن از کربن آلی، باعث افزایش کربن آلی خاک نسبت به شاهد گردید (۶). خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند محتوای زیاد کربن و پایداری زغال زیستی سطح مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد (۱۵). هم‌چنین سرکه چوب درای کربن آلی بالایی می‌باشد که با کاربرد آن در خاک باعث افزایش کربن آلی خاک می‌گردد (۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و زغال زیستی بر میزان کلسیم و منیزیم محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که با مصرف سرکه چوب و ماده اصلاحی میزان کلسیم و منیزیم محلول خاک افزایش یافت (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار کلسیم محلول در تیمار  $W_5B_2$  بود که نسبت به شاهد  $2/2$  برابر و کم‌ترین افزایش کلسیم محلول مربوط به تیمار  $W_1B_0$ ، که نسبت به شاهد  $38/61$  درصد افزایش یافت. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار منیزیم در تیمار  $W_5B_2$  بود که نسبت به شاهد  $3/6$  برابر و کم‌ترین افزایش منیزیم محلول مربوط به تیمار  $W_1B_0$ ، که در مقایسه با شاهد  $71/62$  درصد افزایش یافت (جدول ۳).

ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند با کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب، منیزیم محلول خاک  $26/2$  درصد افزایش یافت (۶). مقدار عناصر غذایی موجود در زغال زیستی به نوع ماده اولیه‌ای آن مرتبط است (۱۶). لهما و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند زغال زیستی منبعی مستقیم برای عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر، روی می‌باشد و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن زغال زیستی به خاک می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و با افزودن مستقیم عنصر از زغال زیستی به خاک



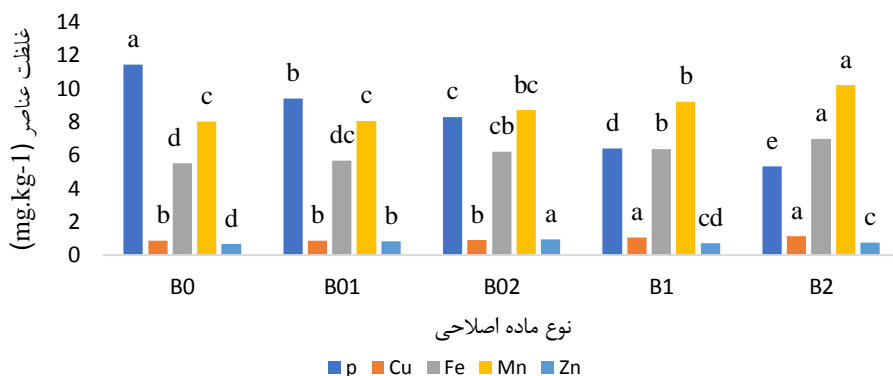
شکل ۱- اثر ماده اصلاحی بر نیتروژن کل خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای.

میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 1. Effect of application of amend on N of soil under Forage Corn cultivation.

براساس نتایج حاصله (جدول ۲) اثر متقابل کاربرد سرکه چوب و زغال زیستی بر میزان نیتروژن کل خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار نبود و تنها اثر اصلی کاربرد ماده اصلاحی بر میزان نیتروژن کل خاک تأثیر معنی دار داشت. با مصرف ماده اصلاحی مقدار نیتروژن کل خاک کاهش یافت (شکل ۱). به طوری که در تیمارهای ماده اصلاحی شامل زغال زیستی و ماده خام در سطح کاربرد یک و دو درصد میزان نیتروژن کل خاک به ترتیب ۱۳/۷، ۳۱/۸، ۳۶/۴ و ۵۹/۰۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. هانگر و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان نمودند کاربرد سرکه چوب تأثیر معنی داری بر نیتروژن کل خاک نداشت (۱۸). دمپستر و همکاران (۲۰۱۲)، گزارش کردند با مصرف زغال زیستی تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس میزان نیتروژن معدنی خاک شنی از ۱۱ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به ترتیب به هفت و یک میلی گرم در کیلوگرم در سطوح ۵ و ۲۵ تن در هکتار زغال زیستی کاهش یافت (۲۸). فروهر و همکاران

(۲۰۱۷) بیان کردند افزایش درصد کربن آلی، فسفر، پتاسیم و کاهش درصد نیتروژن در زغال زیستی می تواند مربوط به تبخیر ترکیبات فرار نیتروژن دار و کاهش وزن مواد اولیه و در نتیجه تغلیظ آن ها از لحاظ کربن، فسفر و پتاسیم باشد (۱۶). نتایج لهما و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان داد، نیتروژن به علت نسبت کربن به نیتروژن بالایی که دارد، باعث می شود قابلیت دسترسی نیتروژن خاک محدود شده و سبب کاهش قدرت باروری خاک می گردد (۲). ایپولیتو و همکاران (۲۰۱۴) بیان نمودند، شستشوی کم تر نترات از خاک تیمار شده با زغال زیستی تهیه شده در دماهای کم به علت وجود مقدار زیادی کربن قابل تجزیه در این مواد است که باعث توقف بیش تر نیتروژن می شود (۲۹). نتایج نلسن و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که استفاده از زغال زیستی سبب کاهش قابلیت دسترسی نیتروژن می شود. میزان این کاهش به نوع زغال زیستی و دمای تهیه آن بستگی دارد و با افزایش دمای تولید زغال زیستی، بر شدت آن افزوده شد (۲۳).



شکل ۲- اثر ماده اصلاحی بر میزان فسفر قابل استفاده، مس، آهن، مس، روی، منگنز زیر کشت ذرت علوفه ای. میانگین های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می باشند.

Figure 2. Effect of application of amend on P, Fe, Cu, Zn, Mn and N of soil under Forage Corn cultivation. Mean with different letters indicate a significant difference based on the 1% fisher-LSD test.

غذایی کم مصرف مانند مس، روی، آهن و منگنز خاک معنی دار نبود. در حالی که اثر اصلی کاربرد ماده اصلاحی در سطح احتمال یک درصد بر فسفر، سدیم و پتاسیم و

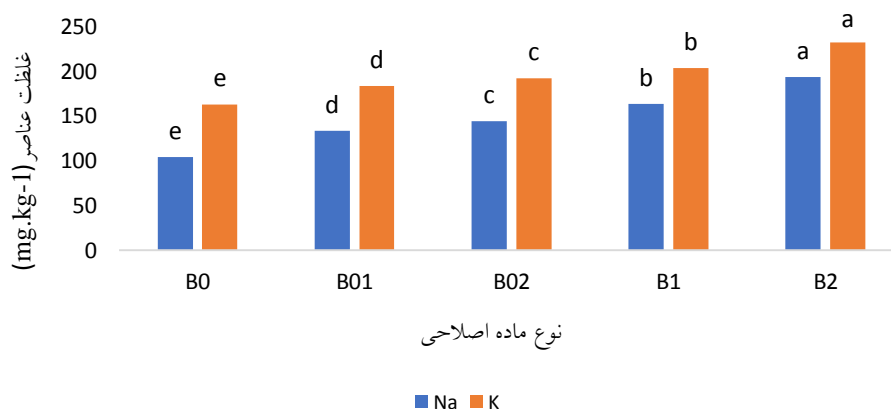
نتایج نشان داد اثر متقابل کاربرد توأم سرکه چوب و ماده اصلاحی و اثر اصلی کاربرد سرکه چوب بر میزان فسفر قابل استفاده، سدیم، پتاسیم و عناصر

فاصله گرفتن از محدوده حداکثر قابلیت دسترسی فسفر (pH=۶/۵) می‌گردد (۱۵). نتایج مطالعات هانگر و همکاران (۲۰۱۳)، سئو و همکاران (۲۰۱۵) و جیونگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز مطابق با نتایج این پژوهش نشان داد، کاربرد سرکه چوب تأثیر معنی‌داری بر میزان فسفر قابل استفاده، خاک نداشت (۱۸، ۱۹ و ۳۱).

میزان عناصر غذایی کم‌مصرف مانند مس، روی، آهن و منگنز در تیمارهای B<sub>01</sub>، B<sub>02</sub>، B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub> به ترتیب ۱/۱۶، ۴/۶۵، ۲۰/۹۳ و ۳۱/۳۹ درصد، ۲۲/۷۲، ۴۰/۹۰، ۴/۵۴ و ۱۲/۱۲ درصد، ۳/۲۷، ۱۲/۷۵، ۲۶/۸۴ و ۱۵/۸۴ درصد و ۰/۵، ۸/۳۵، ۱۴/۸۳ و ۲۶/۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (شکل ۱). نتایج مطالعات ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان استفاده جداگانه سرکه چوب و کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب تأثیر بسیار کمی بر میزان مس، روی و منگنز خاک داشت (۶). زلفی باورینانی و همکاران (۲۰۱۶) نیز افزایش قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف مانند مس، روی، آهن و منگنز بعد از کاربرد مواد اولیه و زغال زیستی حاصل از آن را گزارش نمودند (۳۰).

عناصر غذایی کم‌مصرف مانند مس، روی، آهن و منگنز خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمارهای ماده اصلاحی شامل ماده خام اولیه و زغال زیستی در سطح کاربرد یک و دو درصد میزان فسفر قابل استفاده به ترتیب به میزان ۱۹/۷، ۲۹/۰۵، ۴۵/۳ و ۵۳/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱). میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر آن‌ها، نوع و مقدار زغال زیستی (۳۰) بستگی دارد.

ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند با کاربرد زغال زیستی ۱/۵ و ۳ درصد، میزان فسفر قابل استفاده به میزان ۱۰/۶ و ۱۴/۲ درصد کاهش یافت (۶). نتایج مطالعات زلفی باورینانی (۲۰۱۶) و مرادی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد با افزایش مقدار زغال زیستی قابلیت استفاده فسفر خاک نیز افزایش یافت (۶، ۱۳). نتایج این پژوهش با مطالعات خادم و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. آن‌ها علت این عدم انطباق نتایج و کاهش قابلیت دسترسی فسفر با افزایش مصرف زغال زیستی را مربوط به pH بالای زغال زیستی مورد استفاده و pH خاک مورد پژوهش دانستند که باعث



شکل ۳- اثر کاربرد ماده اصلاحی بر میزان سدیم محلول و پتاسیم محلول خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای. میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 3. Effect of application of amend on soluble sodium (Na<sup>+</sup>) and soluble potassium (K<sup>+</sup>) of soil under Forage Corn cultivation. Mean with different letters indicate a significant difference based on the 1% fisher-LSD test.

پتاسیم قابل‌استفاده افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری میان زغال زیستی با مواد اولیه آن در افزایش میزان پتاسیم قابل‌استفاده وجود نداشت (۱۶). نتایج مطالعات سئو و همکاران (۲۰۱۵) و جیونگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز مطابق با نتایج این پژوهش نشان داد، کاربرد سرکه چوب تأثیر معنی‌داری بر میزان سدیم و پتاسیم خاک نداشت (۱۹، ۳۱).

بررسی اثر ماده اصلاحی و سرکه چوب بر تنفس پایه (Basal Respiration, BR) و کربن زیست‌توده میکروبی (Microbial Biomass Carbon, MBC): براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثر متقابل و اثرات اصلی کاربرد سرکه چوب و زغال زیستی بر میزان تنفس پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت.

مطابق با نتایج حاصله (شکل ۳) میزان سدیم و پتاسیم محلول خاک در تیمارهای  $B_0$  1,  $B_0$  2,  $B_1$  و  $B_2$  به ترتیب ۲۸، ۳۸/۳۷، ۵۶/۸۲ و ۸۵/۸۳ درصد و ۱۲/۷۳، ۱۷/۷۶، ۲۵/۰۷ و ۴۲/۸۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج مطالعات زلفی باوریانی (۲۰۱۶) و خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۱۵، ۳۰). زلفی باوریانی (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند پتاسیم قابل‌استفاده با کاربرد زغال زیستی و مواد اولیه آن افزایش یافت و علت افزایش قابلیت استفاده پتاسیم را افزایش غلظت این عنصر در مواد اولیه و خاکستر زغال زیستی در هنگام گرم‌کافت دانستند (۳۰). خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند افزودن مستقیم پتاسیم به خاک هنگام افزودن زغال زیستی (که در خاکستر آن موجود است) باعث افزایش پتاسیم قابل‌استفاده می‌گردد (۱۵). فروهر و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند با مصرف زغال زیستی و مواد اولیه آن میزان

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر ماده اصلاحی و سرکه چوب بر برخی ویژگی‌های میکروبیولوژی خاک زیر کشت ذرت علوفه‌ای.

Table 4. Effect of application of amend and wood vinegar on soil Basal Respiration and Microbial Biomass Carbon of soil under Forage Corn cultivation.

تنفس پایه B.R (30 day)	تنفس پایه B.R (20 day)	تنفس پایه B.R (10 day)	کربن زیست‌توده میکروبی MBC (mg CO <sub>2</sub> - C kg <sup>-1</sup> soil)	df	تیمارها treatments
464.8*	463.7*	507.6*	60423*	5	WV
2490*	2533*	2086*	307777*	4	A
20.24*	20.22*	21.30*	3438*	20	WV* A
1.29	1.06	2.27	62	60	r

\* معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD

\* Indicate that variances are significant at the level of 1%

خطا (r)، تیمار سرکه چوب (Wood vinegar, W)، تیمار ماده اصلاحی (Amend, A)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) و تنفس پایه (B.R)

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر ماده اصلاحی و سرکه چوب بر تنفس پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک تحت کشت ذرت علوفه‌ای.

**Table 5. Effect of application of amend and wood vinegar on soil Basal Respiration and Microbial Biomass Carbon of soil under Forage Corn cultivation.**

W5	W4	W3	W2	W1	W0	تیمارها Treatments
B.R (10 day)						
27.6 <sup>nk</sup>	27.3 <sup>nh</sup>	17.6 <sup>l</sup>	15.3 <sup>l</sup>	15.5 <sup>l</sup>	8.0 <sup>r</sup>	B0
39.0 <sup>f</sup>	35.7 <sup>e</sup>	35.0 <sup>ef</sup>	33.0 <sup>g</sup>	32.6 <sup>ge</sup>	28.0 <sup>kh</sup>	B1
55.3 <sup>a</sup>	55.0 <sup>a</sup>	52.0 <sup>b</sup>	47.0 <sup>c</sup>	42.3 <sup>d</sup>	33.0 <sup>ge</sup>	B2
28.4 <sup>kh</sup>	28.2 <sup>kh</sup>	25.3 <sup>n</sup>	22.7 <sup>m</sup>	22.3 <sup>m</sup>	17.3 <sup>l</sup>	B01
35.3 <sup>ef</sup>	35.0 <sup>ef</sup>	30.0 <sup>h</sup>	27.3 <sup>nk</sup>	22.6 <sup>m</sup>	22.3 <sup>m</sup>	B02
B.R (20 day)						
23.5 <sup>j</sup>	23.3 <sup>j</sup>	13.7 <sup>m</sup>	11.7 <sup>n</sup>	11.3 <sup>n</sup>	8.0 <sup>p</sup>	B0
36.0 <sup>f</sup>	32.7 <sup>e</sup>	32.0 <sup>f</sup>	30.2 <sup>hg</sup>	30.0 <sup>hg</sup>	25.0 <sup>j</sup>	B1
52.3 <sup>a</sup>	52.0 <sup>a</sup>	50.0 <sup>b</sup>	45.0 <sup>c</sup>	40.3 <sup>d</sup>	31.0 <sup>gf</sup>	B2
23.7 <sup>j</sup>	23.3 <sup>j</sup>	20.3 <sup>k</sup>	17.4 <sup>l</sup>	17.3 <sup>l</sup>	12.3 <sup>nm</sup>	B01
29.4 <sup>ih</sup>	29.0 <sup>hg</sup>	27.3 <sup>i</sup>	21.5 <sup>kj</sup>	17.0 <sup>l</sup>	16.7 <sup>l</sup>	B02
B.R (30 day)						
22.5 <sup>j</sup>	22.3 <sup>j</sup>	12.7 <sup>m</sup>	10.5 <sup>o</sup>	10.3 <sup>o</sup>	8.02 <sup>p</sup>	B0
35.0 <sup>f</sup>	31.8 <sup>e</sup>	31.3 <sup>f</sup>	29.0 <sup>ef</sup>	29.0 <sup>hg</sup>	23.3 <sup>j</sup>	B1
51.4 <sup>a</sup>	51.3 <sup>a</sup>	49.0 <sup>b</sup>	44.0 <sup>c</sup>	38.8 <sup>d</sup>	30.0 <sup>hg</sup>	B2
23.0 <sup>j</sup>	22.0 <sup>j</sup>	19.3 <sup>l</sup>	16.4 <sup>n</sup>	16.3 <sup>n</sup>	11.3 <sup>om</sup>	B01
28.7 <sup>ih</sup>	28.0 <sup>hg</sup>	26.16 <sup>i</sup>	19.66 <sup>l</sup>	16.0 <sup>n</sup>	15.50 <sup>n</sup>	B02
MBC						
521.0 <sup>k</sup>	505.0 <sup>l</sup>	452.0 <sup>o</sup>	412.7 <sup>m</sup>	407.7 <sup>m</sup>	205.0 <sup>p</sup>	B0
693.0 <sup>fe</sup>	690.0 <sup>f</sup>	626.3 <sup>g</sup>	592.3 <sup>h</sup>	560.0 <sup>i</sup>	555.7 <sup>i</sup>	B1
821.3 <sup>a</sup>	820.3 <sup>a</sup>	785.7 <sup>b</sup>	766.0 <sup>c</sup>	733.3 <sup>d</sup>	705.0 <sup>e</sup>	B2
593.3 <sup>h</sup>	590.0 <sup>h</sup>	524.3 <sup>k</sup>	492.3 <sup>l</sup>	473.3 <sup>n</sup>	455.0 <sup>o</sup>	B01
620.4 <sup>g</sup>	620.3 <sup>g</sup>	595.0 <sup>h</sup>	565.0 <sup>i</sup>	529.0 <sup>k</sup>	505.0 <sup>l</sup>	B02

میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می‌باشند

Mean with different letters indicate a significant difference based on the 1% fisher-LSD test

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) و تنفس پایه (B.R)

مقدار CO<sub>2</sub> متصاعد شده مربوط به تیمار W<sub>5</sub>B<sub>2</sub> بود. این افزایش طی ۱۰ روز اول بیش‌تر ولی طی ۱۰ روز دوم و سوم با میزان کم‌تری افزایش یافت. در ۱۰ روز

کاربرد سرکه چوب و ماده اصلاحی در خاک باعث افزایش تنفس میکروبی گردید (جدول ۵). طی یک ماه انکوباسیون در هر سه فاصله زمانی بیش‌ترین



زغال زیستی با حفاظت میکروبیها در مقابل شکار شدن و خشکی و همچنین تامین نیاز کربنی، انرژی و عناصر معدنی محل مناسبی را برای ریزجانداران فراهم می‌کند (۱۵).

نتایج مطالعات خادم و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد مصرف زغال زیستی باعث افزایش تنفس ناشی از سویسترا گردید. به طوری که مصرف زغال زیستی تنفس ناشی از سویسترا را در خاک رسی بین ۵۰ تا ۱۶۵ درصد و در خاک شنی بین ۸۷ تا ۲۱۶ درصد افزایش داد (۱۵). روتیگلیانو (۲۰۱۴) افزایش تنفس ناشی از ۱۶ سویسترای مختلف را با مصرف زغال زیستی گزارش کرده و بیان نمودند مواد فرار و ترکیبات ذوب سطحی شده روی سطح زغال زیستی بعد از گرماکافت ممکن است به عنوان سویسترای قابل دسترس عمل نموده و موجب افزایش رشد و فعالیت میکروبی در چند ماه اول پس از مصرف زغال زیستی می‌شود (۳۳). همچنین سرکه چوب باعث افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی خاک و افزایش جمعیت میکروبی خاک می‌شود (۶). کوک و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان نمودند استفاده از سرکه چوب بر تعداد و فعالیت جمعیت میکروبی خاک تأثیر مثبتی دارد (۳۴).

**بررسی ویژگی‌های ظاهری گیاه ذرت:** مطابق نتایج حاصله (جدول ۶) اثر متقابل کاربرد توأم ماده اصلاحی و سرکه چوب بر ویژگی‌های ظاهری گیاه مانند قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر ذرت علوفه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی بر ارتفاع گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت.

اول، دوم و سوم میزان تنفس میکروبی خاک در تیمار  $W_5B_2$  به ترتیب ۶/۹۱، ۶/۵۴ و ۶/۴ برابر گردید. افزایش کربن زیست‌توده میکروبی خاک نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. مهم‌ترین علت افزایش تنفس میکروبی می‌تواند به علت کربن آلی و عناصر غذایی قابل استفاده در ماده اصلاحی و سرکه چوب و کاهش میزان ترکیبات آلی قابل تجزیه موجود در ماده اصلاحی و سرکه چوب با گذشت زمان باشد.

میزان کربن زیست‌توده میکروبی نیز با کاربرد سرکه چوب و ماده اصلاحی افزایش یافت (جدول ۵) و همانند تنفس میکروبی بیش‌ترین مقدار  $MBC$  مربوط به تیمار  $W_5B_2$  بود که میزان کربن زیست‌توده میکروبی در مقایسه با شاهد چهار برابر شد. خادم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند کاربرد زغال زیستی اثر معنی‌دار بر زیست‌توده میکروبی هر دو خاک داشت و با افزایش میزان مصرف زغال زیستی بر زیست‌توده میکروبی افزوده شد و بیان نمودند بالاترین زیست‌توده میکروبی در خاک رسی و در تیمار یک درصد بقایای ذرت ثبت شد و کم‌ترین میزان زیست‌توده میکروبی در تیمار شاهد خاک شنی به دست آمد. همچنین افزودن مواد اولیه به خاک موجب افزایش فعالیت و جمعیت میکروبی گردید (۱۵).

محتوای زیاد کربن و پایداری زغال زیستی سطح مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد که خود مؤثر در چرخه عناصر غذایی و بهبود منابع آب قابل دسترس برای گیاه، ظرفیت بافزی و ساختمان خاک دارد (۹). زغال زیستی فعالیت انواع مختلف میکروبی‌های خاک را که از نظر کشاورزی مهم هستند، تحریک می‌کند (۳۲). وجود خلل و فرج و توزیع اندازه آن‌ها در

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد توأم ماده اصلاحی و سرکه چوب بر ارتفاع، قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر گیاه ذرت علوفه‌ای.

**Table 6. Results of ANOVA (mean square values) the effect of application of amend and wood vinegar on height (cm), stem diameter (mm), dry weight (g) and Wet weight (g) of forage corn cultivation.**

وزن تر Wet weight	وزن خشک Dry weight	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع Height	df	تیمارها Treatments
2546*	234.2*	1.3*	6106.3	5	WV
279257*	10823.4*	202.8*	22659.7*	4	A
2486*	122.8*	2.02*	4935.1	20	W*A
0.3	0.8	0.028	4547.8	60	r

\* معنی دار بودن در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD

\* Indicate that variances are significant at the level of 1%

خطا (r)، تیمار سرکه چوب (Wood vinegar)، تیمار ماده اصلاحی (Amend)

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد توأم ماده اصلاحی و سرکه چوب بر ارتفاع (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی‌متر)، وزن خشک (گرم) و وزن تر (گرم) گیاه ذرت علوفه‌ای.

**Table 7. Effect of application of amend and wood vinegar on height (cm), stem diameter (mm), dry weight (g) and wet weight (g) of forage corn cultivation.**

W5	W4	W3	W2	W1	W0	تیمارها Treatments
قطر ساقه Stem diameter						
12.3 <sup>c</sup>	11.8 <sup>fed</sup>	11.9 <sup>d</sup>	10.4 <sup>ij</sup>	10.2 <sup>j</sup>	10.2 <sup>j</sup>	B0
4.3 <sup>q</sup>	4.4 <sup>q</sup>	4.4 <sup>q</sup>	4.5 <sup>q</sup>	4.5 <sup>q</sup>	4.9 <sup>p</sup>	B02
5.9 <sup>o</sup>	6.1 <sup>n</sup>	6.6 <sup>m</sup>	7.5 <sup>l</sup>	7.5 <sup>l</sup>	8.4 <sup>k</sup>	B01
13.13 <sup>a</sup>	12.9 <sup>b</sup>	12.7 <sup>b</sup>	11.9 <sup>d</sup>	11.6 <sup>fe</sup>	10.9 <sup>h</sup>	B2
12.7 <sup>b</sup>	12.4 <sup>c</sup>	11.9 <sup>c</sup>	11.5 <sup>f</sup>	11.2 <sup>g</sup>	10.5 <sup>i</sup>	B1
وزن خشک Dry weight						
63.0 <sup>b</sup>	62.7 <sup>c</sup>	59.3 <sup>h</sup>	53.3 <sup>i</sup>	45.0 <sup>l</sup>	43.1 <sup>o</sup>	B0
4.0 <sup>z</sup>	5.0 <sup>y</sup>	5.2 <sup>x</sup>	5.3 <sup>x</sup>	5.7 <sup>w</sup>	7.0 <sup>v</sup>	B02
12.0 <sup>u</sup>	13.3 <sup>t</sup>	18.1 <sup>s</sup>	19.3 <sup>t</sup>	21.3 <sup>q</sup>	25.7 <sup>p</sup>	B01
64.7 <sup>a</sup>	62.3 <sup>bc</sup>	61.3 <sup>e</sup>	60.9 <sup>f</sup>	47.3 <sup>gh</sup>	44.9 <sup>m</sup>	B2
61.7 <sup>c</sup>	61.3 <sup>e</sup>	60.8 <sup>f</sup>	60.3 <sup>g</sup>	46.7 <sup>k</sup>	43.7 <sup>n</sup>	B1
وزن تر Wet weight						
301.0 <sup>b</sup>	290.2 <sup>j</sup>	282.1 <sup>l</sup>	277.6 <sup>m</sup>	260.3 <sup>o</sup>	247.1 <sup>q</sup>	B0
31.8 <sup>z</sup>	32.0 <sup>z</sup>	33.9 <sup>z</sup>	34.0 <sup>z</sup>	35.7 <sup>y</sup>	46.1 <sup>x</sup>	B02
96.0 <sup>w</sup>	110.0 <sup>v</sup>	132.7 <sup>u</sup>	138.1 <sup>t</sup>	156.0 <sup>s</sup>	165.0 <sup>r</sup>	B01
392.7 <sup>a</sup>	353.3 <sup>b</sup>	332.3 <sup>e</sup>	310.4 <sup>g</sup>	298.1 <sup>i</sup>	270.1 <sup>n</sup>	B2
344.6 <sup>c</sup>	330.0 <sup>d</sup>	312.3 <sup>f</sup>	287.2 <sup>k</sup>	270.0 <sup>n</sup>	257.3 <sup>p</sup>	B1

میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ براساس آزمون LSD می‌باشند

Mean with different letters indicate a significant difference based on the 1% fisher-LSD test

فراهمی عناصر غذایی، تنفس پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک زیرکشت ذرت علوفه‌ای موردبررسی داشت. هم‌چنین باعث افزایش قطر ساقه، وزن خشک و تر گیاه ذرت علوفه‌ای گردید. کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب باعث افزایش و در دسترس بودن عناصر غذایی خاک مانند کلسیم محلول، منیزیم محلول، کربن آلی و افزایش جمعیت میکروبی خاک گردید. از آن‌جایی که یکی از مشکلات عمده خاک‌های کشور ما کمبود ماده آلی و اثرات متعاقب آن است، سرکه چوب و زغال زیستی دارای کربن آلی بالایی هستند که مواد آلی و هم‌چنین عناصر غذایی موجود در آن‌ها سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی، افزایش جمعیت میکروبی خاک، افزایش توسعه ریشه و تقویت ویژگی‌های گیاه می‌شود. با توجه به لزوم ارتقاء کیفیت خاک و تأثیر کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی بر افزایش فراهمی عناصر غذایی، مدیریت کیفیت خاک و افزایش رشد گیاه پیشنهاد می‌گردد، با در نظر گرفتن معایب و مزایای کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی، این پژوهش در شرایط مزرعه و برای گیاهان زراعی دیگر انجام پذیرد.

### تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از دانشگاه شهرکرد به علت حمایت مالی از این پژوهش در قالب پایان‌نامه دکتری، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

### داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه دکتری خانم نسرين کریمیان شمس‌آبادی در رشته مدیریت منابع خاک، گرایش فیزیک و حفاظت خاک بوده و مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه‌های خاکشناسی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۰ انجام شده است.

کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی باعث افزایش قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر گیاه نسبت به شاهد گردید. به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر گیاه مربوط به تیمار  $W_5B_2$  بود، که به ترتیب  $28/7$ ،  $50/1$  و  $58/9$  درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۷). در حالی‌که کاربرد توأم سرکه چوب و ماده خام باعث کاهش قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر گیاه ذرت علوفه‌ای نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین کاهش قطر ساقه، وزن خشک و وزن تر مربوط به تیمار  $B_{02}W_5$  بود که نسبت به شاهد  $57/8$ ،  $90/7$  و  $87/1$  درصد کاهش یافت (جدول ۷).

قربانی و میراحمدی (۱۳۹۷) گزارش نمودند سطوح مختلف کاربرد زغال زیستی بر ارتفاع و اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و کاربرد دو و چهار درصد زغال زیستی منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد گردید. آنان دریافتند زغال زیستی با اثر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌طور غیرمستقیم بر ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی گیاه مؤثر است (۷). سان و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند کاربرد هم‌زمان سرکه چوب و زغال زیستی باعث افزایش عملکرد دانه برنج گردید (۳). ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند کاربرد توأم سرکه چوب و زغال زیستی  $1/5$  درصد جرمی، باعث افزایش ارتفاع درخت، افزایش توسعه تاج درخت و افزایش عملکرد میوه درخت بلویری گردید (۶). آن‌ها علت این تأثیر مثبت را بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی و افزایش جمعیت میکروبی خاک دانستند (۶).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد توأم زغال زیستی و سرکه چوب اثرات مثبت معنی‌داری بر

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و داده‌برداری، انجام محاسبات، آنالیز و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده دوم: استاد راهنمای اول پایان‌نامه، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم: استاد راهنمای دوم پایان‌نامه، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده پنجم: استاد مشاور پایان‌نامه، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

### اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

### حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه شهرکرد و دانشکده کشاورزی در قالب پایان‌نامه دکتری نویسنده اول انجام شده است.

### منابع

1. Pattiya, A. 2011. Thermochemical characterization of agricultural wastes from Thai cassava plantations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 33: 691-701.
2. Lehmann, J., Da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. 249: 343-357.
3. Sun, H., Feng, Y., Xue, L., Mandal, S., Wang, H., Shi, W., and Yang, L. 2020. Response of ammonia volatilization from rice paddy soil to application of wood vinegar alone or combined with biochar. *Elsevier*. 242: 1-7.
4. Grewal, A., Abbey, L., and Gunupuru, L.R. 2018. Production, prospects and potential application of pyrolytic acid in agriculture. *Journal Analysis Applied*. 135: 152-1529.
5. Traverro, J., and Mihara, M. 2015. Impacts of pyrolytic acid to biological and chemical properties of depleted soil in Bohol, Philippines. *International Journal of Environmental and Rural Development*. 6: 1. 132-137.
6. Zhang, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Q., Zheng, H., You, X. Sun, K., Luo, X., and Li, F. 2020. Comparative study of individual and co- application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Elsevier*. 246: 1-11.
7. Behesti, M., Alikhani, H., Motesharezadeh, B., and Mohammadi, L. 2016. Quality variations of cow manure biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Water and Soil Research*. 47: 2. 259-267. (In Persian)
8. Chen, H.X., Du, Z.L., Guo, W., and Zhang, Q.Z. 2011. Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the North China Plain. *The Journal of Applied Ecology*. 22: 2930-2934.

9. Steinbeiss, S., Gleixner, G., and Antonietti, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 1301-1310.
10. Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M.O., and Ismail, M.R. 2011. Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rockmelon in soilless culture. *Australian Journal of Crop Science*. 5: 12. 1508-1514.
11. Saberi, M., Askary, H., and Sarpeleh, A. 2013. Integrated Effects of Wood Vinegar And Tea Compost On Root Rot And Vine Decline And Charcoal Root Rot Diseases Of Muskmelon. *Biocontrol in Plant Protection*. 1: 1. 91-101. (In Persian)
12. Payamara, J. 2011. Usage of wood vinegar as new organic substance. *International Journal of ChemTech Research*. 3: 3. 1658-1662.
13. Moradi, N., Rasouli-Sadaghian, 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)
14. Ippolito, J.A., Ducey, T.F., Cantrell, K.B., Novak, J.M., and Lentz, R.D. 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*. 142: 184-191.
15. Khadem, A., Raeisi, F., and Besharati, H. 2017. A Review of Biochar Effects on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties. *Land Management Journal*. 5: 1. 13-30. (In Persian)
16. Forouhar, M., Khorassani, R., Fotivat, A., Shariatmadari, H., and Khavazi, K. 2017. The Influence of Different Biochars and their Feedstock on Some Soil Chemical Properties and Nutrients over the Time in a Calcareous Soil. *Journal of Water and Soil*. 32: 2. 299-312. (In Persian)
17. Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M., Barin, M., and Vetukuri, R. 2022. Effect of Biochar and Microbial Inoculation on P, Fe, and Zn Bioavailability in a Calcareous Soil. *Processes*. 10: 343. 1-14.
18. Hagner, M., Penttinen, O.P., Tiilikkala, K., and Setälä, H. 2013. The effects of biochar, wood vinegar and plants on glyphosate leaching and degradation. *European Journal of Soil Biology*. 58: 1-7.
19. Seo, P.D., Venecio, U., Ultra, Jr., Rosnah, M., Rubenecia and Lee, C.H.S. 2015. Influence of herbicides-pyroligneous acids mixtures on some soil properties, Growth and Grain Quality of Paddy Rice. *International Journal of Agriculture & Biology*. 17: 3. 499-506.
20. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Method of Soil Analysis. Part 3, chemical methods*. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, pp: 475-490.
21. Rhoades, J.D. 1986. Soluble salts. In: Page, A.L. Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Science Society of America*. Madison. Wisconsin, pp. 167-179.
22. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. phosphorus. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2<sup>nd</sup> ed. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 403-430.
23. Nelissen, V., Ruyschaert, G., Stover, D.M., Bode, S., Cook, J., Ronsse, F., Shackley, S., Boeckx, P., and Nielsen, H.H. 2014. Short term effect of feedstock and pyrolysis temperature on biochar characteristics, soil and crop response in temperate soils. *Agronomy*. 4: 52-73.
24. Nelson, D.W., and Summers, L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, pp. 961-1010.
25. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1965. Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. *Agronomy Series*. 9: 2. 596-622.

26. Horwath, W.R., and Paul, E.A. 1994. Microbial biomass. In: D.R. Buxton (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. ASA and SSSA. Madison. Wisconsin, pp. 771-821.
27. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 831-871.
28. Dempster, D.N., Gleeson, D.B., Solaiman, Z.M., Jones, D.L., and Murphy, D.V. 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant and Soil*. 354: 311-324.
29. Ippolito, J.A., Novak, J.M., Busscher, W.J., Ahmedna, M., Rehrh, D., and Watts, D.W. 2012. Switchgrass biochar affects two Aridisols. *Journal Environmental Quality*. 41: 1123-1130.
30. Zolfi Bavariani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi, R., and Yasrebi, J. 2016. Effect of Poultry Manure Derived Biochars at Different Temperatures on Chemical Properties of a Calcareous Soil. *Water and Soil Science*. 20: 75. 73-86. (In Persian)
31. Jeong, K.W., Kim, B.S., Venecio, U., Ultra, J., and Lee, S. 2015. Effects of Rhizosphere Microorganisms and Wood Vinegar Mixtures on Rice Growth and Soil Properties. *Korean Journal Crop Science*. 60: 3. 355-365.
32. Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A., and Sherlock, R.R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and Pedobiologia. 54: 309-320.
33. Rutigliano, F.A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F., and Castaldi, S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal of Soil Biology*. 60: 9-15.
34. Koc, I., Yardim, E.N., Akca, M.O., and Namli, A. 2011. Impact of pesticides and wood vinegar, used in wheat agroecosystems, on the soil enzyme activities. *Fresenius Environmental Bulletin*. 27: 4. 2442-2448.