



مدیریت آب و آبیاری

(نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰

صفحه‌های ۶۰۶-۵۹۳

DOI: 10.22059/jwim.2021.328440.908

مقاله پژوهشی:

اثر بیوجار ذرت علوفه‌ای و کود اوره بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد فلفل دلمه‌ای تحت شرایط گلخانه

- اکرم حسین‌نژاد میر^۱، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره^{۲*}، عبدالمجید لیاقت^۳، سهیل کریمی^۴، فریبرز عباسی^۵
۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۲. استادیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۳. استاد، گروه مهندسی و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۴. استادیار، علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.
 ۵. استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶

چکیده

به منظور بررسی اثر بیوجار ذرت علوفه‌ای و کاربرد کود اوره تحت کشت فلفل دلمه‌ای، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در نه تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح بیوجار (صفر، دو و پنج درصد وزن خاک) و سه سطح نیاز کود اوره (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد) بود. یک نشای فلفل دلمه‌ای در مرحله چهار برگی در گلدان‌های حاوی ۵ کیلوگرم خاک و بیوجار منتقل شد، سپس در سه مرحله و در هر مرحله به ترتیب ۲۳۶، ۳۱۴ و ۳۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع کود اوره به هر گلدان اضافه شد. در مراحل پایانی کشت، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، pH، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، کربن آلی، نیتروژن کل خاک و عملکرد تر میوه فلفل دلمه‌ای انجام گرفت. نتایج نشان داد که در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوجار تجمع هدایت الکتریکی، pH، سدیم و نیتروژن کل در خاک به ترتیب برابر با ۴۱/۷، ۱۲/۵، ۲/۱ و ۵۳/۵ درصد و کربن آلی خاک ۴/۱۶ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوجار تجمع پتاسیم خاک به میزان ۹۶/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین بیش‌ترین مقدار افزایش کلسیم و منیزیم در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و ۲ درصد بیوجار به میزان ۵۸/۳ درصد در خاک مشاهده شد. علاوه بر این نتایج نشان داد که تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و بدون بیوجار عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای را ۶۱/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

کلید واژه‌ها: پتاسیم خاک، عملکرد تر میوه، کربن آلی، نیتروژن کل خاک.

Effect of forage maize biochar and urea fertilizer on soil chemical properties and pepper yield under greenhouse conditions

Akram Hosseinnejad Mir¹, Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh^{2*}, AbdolMajid Liaqhat³, Soheil Karimi⁴, Fariborz Abbasi⁵

1. Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran.

3. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resource, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Horticulture, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran.

5. Professor, Agricultural Engineering Technical Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

Received: August 07, 2021

Accepted: October 08, 2021

Abstract

In order to investigate the effect of forage maize biochar and urea fertilizer application on bell pepper cultivar, a factorial experiment in a completely randomized design with three replicates and nine treatments was conducted. The treatments consisted of three levels of forage maize biochar (zero, 2, and 5% Soil weight) and three required urea fertilizer (75% 100%, and 120%). One bell pepper was transferred in 4-leaf pots containing 5 kg of soil and biochar, then in three stages and in each stage, 236, 314, and 376 mg kg⁻¹ N of urea fertilizer was added to the pot. At the end stage of cultivation, EC, pH, Na, K, Ca⁺ mg, carbon organic, total nitrogen and wet yield fruit bell pepper measurements were done. The results indicated that the treatment of 120% urea fertilizer and 5 percentage biochar EC, pH, sodium, and total nitrogen cumulative in soil 41.7, 12.5, 2.1 and 58.3% and soil organic carbon 4.16 times, were compared to the control treatment respectively. In 100% urea fertilizer and 5 percentage biochar treatment soil potassium increase by 96.8% in comparison with the control treatment. Also, the highest increase calcium and magnesium the treatment 100% urea fertilizer and 2 percentage biochar was observed in soil by 58.3%. In addition, the results indicate that the treatment of 120% urea fertilizer without biochar increased the wet yield fruit of bell pepper by 61.5% compared to the control treatment.

Keywords: Organic carbon, Soil potassium, Soil total nitrogen, Wet yield fruit.

مقدمه

محدودیت منابع آب با کیفیت مناسب در بخش کشاورزی تأمین امنیت غذایی را با مشکل مواجه می‌سازد. لذا افزایش عملکرد و بهره‌وری در بخش کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد. گیاهان برای رشد به نور، آب، هوا، مواد غذایی و دمای مناسب نیاز دارند. اگرچه کربن، اکسیژن و هیدروژن از هوا به دست می‌آیند، اما بیشتر مواد مغذی مورد نیاز گیاه باید در خاک یا محیط کشت وجود داشته باشند. به منظور تولید محصول بیشتر، کودها برای تأمین مواد مغذی که کمبود آنها در خاک وجود دارد استفاده می‌شود. نیتروژن پرمصرف‌ترین نوع کود در مزارع به شمار می‌رود. این عنصر ۱ تا ۴ درصد از ماده خشک گیاهی را شامل شده و به دو صورت نترات یا آمونیوم در خاک جذب می‌شود و در گیاه با ترکیبات حاصل از سوخت‌وساز کربوهیدرات ترکیب شده و آمینواسیدها و پروتئین‌ها را ایجاد می‌کند. در واقع نیتروژن به عنوان موتور رشد گیاه بوده و کارایی آن خیلی زود پس از استفاده مشاهده می‌شود. نیتروژن نقش مهمی در فرایندهای مختلف بیولوژیکی ایفا می‌کند و موجب توسعه برگ‌ها، ساقه و بخش‌های رویشی گیاه می‌شود. نیتروژن برای گیاهان از منابع مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن صنعتی، تثبیت نیتروژن اتمسفر، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و منابع آلی تأمین می‌شود. این عنصر به واسطه افزایش عملکرد محصول نقش اساسی در کشاورزی ایفا می‌کند و نه تنها عملکرد بلکه کیفیت محصول را نیز بهبود می‌بخشد (Leghari et al., 2016). اگر کود نیتروژن بیش از اندازه در اراضی تحت کشت مصرف شود موجب آلودگی محیط‌زیست و تجمع نیتروژن در بخش خوراکی به ویژه برگ آن می‌شود، مصرف این محصول می‌تواند به سلامتی انسان آسیب وارد کند و خطر ابتلا به سرطان را افزایش دهد (Hamifar, 2019). یک ایده جدید برای افزایش

عناصر شیمیایی مانند نیتروژن، مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک، استفاده از بیوچار است. بیوچار یک ماده زیستی پیرولیز شده است. پیرولیز فرایند سوختن مواد آلی در حضور اکسیژن کم یا شرایط بدون اکسیژن است که منجر به تشکیل زغال غنی از کربن می‌شود که بسیار مقاوم به تجزیه است (Azeem et al., 2016). به طور کلی بیوچار برای بهبود شرایط خاک، مدیریت پسماندهای آلی، کاهش تغییرات اقلیمی و تولید انرژی تهیه و مصرف می‌شود (Ouyang et al., 2014). علاوه بر این، مصرف خاکی و کشاورزی بیوچار پتانسیل زیادی برای مدیریت پسماندهای گیاهی و حیوانی دارد و بنابراین آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد (Masto et al., 2013). بیوچار با تأثیر مستقیم بر خواص فیزیکی (افزایش تخلخل، ظرفیت نگهداری آب در خاک و هدایت هیدرولیکی خاک) و شیمیایی خاک (افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی) و افزایش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک سبب بهبود شرایط برای رشد و تولید محصول می‌شود (Razaqi & Rezaei, 2017). میزان اثرگذاری بیوچار بر این خواص متأثر از نوع ماده اولیه و دمای تولید بیوچار می‌باشد (Lei & Zhang, 2013). در واقع بیوچار نشان‌دهنده مواد آلی زغال‌شده‌ای است که با هدف بهبود ویژگی‌های خاک به کار می‌رود (Lehmann et al., 2003). این ماده به دلیل سرعت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن و متان دارد که از ضایعات گیاهی و دامی آزاد می‌شود و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند (Lehmann & Joseph, 2009). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوچار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است و در حفظ ماده آلی خاک و افزایش بهره‌وری کود مؤثر مؤثر می‌باشد و باعث افزایش تولید محصول به ویژه در خاک‌های مناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری که طولانی مدت

خاک و عملکرد فلفل دلمه‌ای در گلخانه‌های تحقیقاتی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۹ انجام شد. این پژوهش شامل سه سطح کود اوره $N_1=75$ ، $N_2=100$ و $N_3=120$ درصد (نیاز کودی گیاه براساس نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز شیمیایی خاک گلدان‌ها) و سه سطح بیوجار ذرت علوفه‌ای $B_1=0$ ، $B_2=2$ و $B_3=5$ درصد وزن خاک در سه تکرار و ۲۷ گلدان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. خاک موردنظر از مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان جمع‌آوری شد. جدول (۱) برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

تهیه و آماده‌سازی بیوجار

برای تهیه بیوجار مورد استفاده از ماده اولیه ذرت علوفه‌ای استفاده شد. بدین منظور ابتدا ذرت علوفه‌ای خشک و سپس کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند تا یکنواخت شوند. سپس در یک کوره برای مدت دو ساعت دمای کوره به تدریج افزایش یافت تا به ۴۰۰ درجه سلسیوس رسانده شد. سپس برای مدت دو ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و در شرایط بدون اکسیژن سوزانده شده و سپس سرد شد. برای اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی بیوجار ذرت علوفه‌ای، از نسبت یک به ۱۰ بیوجار به آب مقطر استفاده شد (Guvili et al., 2016). اندازه‌گیری کربن، نیتروژن، اکسیژن، کلر، فسفر، پتاسیم، هیدروژن و سایر عناصر در بیوجار ذرت علوفه‌ای با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری به نام Hitach 4160 FESEM در آزمایشگاه دانشکده برق دانشگاه تهران صورت پذیرفت. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوجار ذرت علوفه‌ای نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

کشت شده‌اند می‌شود (Van Zwieten et al., 2010). در پژوهشی اثر بیوجار تولیدشده از علف ستاره در سطوح یک، سه، پنج، ۱۰ و ۲۰ گرم بیوجار بر کیلوگرم خاک بر ویژگی‌های خاک بررسی شد، نتایج نشان داد که بیوجار تولیدی دارای ترکیبات کربن پایدار می‌باشند. کاربرد بیوجار گیاه علف ستاره در سطوح مختلف باعث افزایش هدایت الکتریکی، اسیدیته و فعالیت میکروبی خاک شد (Kumar et al., 2013). نتایج پژوهش‌های Guvili et al. (2016) نشان دادند که افزودن بیوجار (کود گاوی و کاه و کلش گندم) باعث افزایش غلظت منگنز، سدیم، کلسیم، فسفر و نیتروژن در خاک شد. Oladele et al. (2019) در پژوهشی نشان دادند ترکیب بیوجار و کود نیتروژن اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت برنج و عملکرد دانه داشتند. همچنین اثر متقابل بیوجار و کود نیتروژن باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب، وضعیت شیمیایی خاک مانند pH، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شدند. Bednik et al. (2020) در مطالعه دیگری نشان دادند که بیوجار به‌طور قابل توجهی pH خاک، مقدار کل کربن آلی را افزایش داد. با این‌حال، بیوماس خشک چمن در تیمار حاوی بیوجار کم‌تر از تیمار شاهد شد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده مشاهده می‌شود تاکنون پژوهشی در ارتباط با بررسی اثر برهم‌کنش بیوجار و کود اوره بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد فلفل دلمه‌ای انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوجار ذرت علوفه‌ای و کود اوره بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد میوه پس از برداشت فلفل دلمه‌ای تحت شرایط گلخانه انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوجار ذرت علوفه‌ای و کود اوره بر ویژگی‌های شیمیایی

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil at experimental site

Characteristic	Texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	FC (m ³ .m ⁻³)	PWP (m ³ m ⁻³)	Bulky density (gr cm ⁻³)	Total nitrogen (%)	Ca+mg (meqlit ⁻¹)
Average	Sandy loam	6.1	1	21	10	1.58	0.07	35

Table 2. Physical and chemical characteristics of the forage maize biochar

Characteristic	pH	EC (dSm ⁻¹)	Nitrogen (%)	Oxygen (%)	Phosphor (%)	Carbon (%)	Potassium (%)	Chlorine (%)
Average	9.2	6.8	11	30.5	7.5	31.9	8.5	3

* pH and EC of biochar with ratio 1:10 biochar to deionized water.

شکل اوره و در سه مرحله به طور مساوی تقسیم شد. پس از استقرار کامل گیاه، تیمارهای کودی در سطوح مربوطه اعمال شدند.

اندازه گیری پس از برداشت ها

پس از برداشت گیاه فلفل دلمه ای عملکرد میوه فلفل دلمه ای تعیین شد. سپس از همه گلدان ها در لایه صفر تا ۲۰ سانتی متر نمونه خاک جهت اندازه گیری های مختلف تهیه شد. پس از تهیه عصاره اشباع، با دستگاه EC متر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع و با استفاده از دستگاه pH متر، pH خاک اندازه گیری شد. میزان عناصر سدیم و پتاسیم از دستگاه Flame photometer میزان کلسیم + منیزیم موجود در خاک از روش تیتراسیون اندازه گیری شد. برای اندازه گیری کربن آلی موجود در خاک به روش تیتراسیون، با استفاده از یک گرم خاک با بی کربنات پتاسیم، اسید سولفوریک، اسید فسفریک و معرف ردوکس و در نهایت با محلول فرو آمونیوم سولفات تیتراژ شد. برای اندازه گیری نیتروژن کل خاک از دستگاه کجداال استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل آماری داده ها آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. برای رسم شکل ها و نمودارها از نرم افزار و EXCEL استفاده شد و مقایسه میانگین ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (دانکن) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

آماده سازی بستر کشت و کاشت

نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری زمین جمع آوری، با یکدیگر مخلوط و به میزان لازم به گلخانه منتقل شد. بذور فلفل دلمه ای رقم CANYON تهیه، پس از انتخاب بذر و نحوه کشت انتخاب شد. سپس بذور تهیه شده در بستر کوکویت و پرلیت کاشته شد. تا استقرار کامل گیاهچه ها، آبیاری توسط آب پاش دستی به طور مرتب هر دو روز یکبار انجام گرفت. بعد از ۷۰ روز و بعد از چهار برگه شدن نشاها به داخل گلدان هایی که با خاک و بیوجار پر شدند انتقال داده شد. در هر گلدان یک نشا کشت شد. نشای فلفل دلمه ای در گلدان های پلاستیکی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر و قطر دهانه ۲۰ سانتی متر که حاوی ۷ کیلوگرم مخلوط خاکی (رس، سیلت و شن) انتقال داده شدند. گلدان ها در گلخانه با دمای ۱۸-۲۵ درجه سلسیوس (روز- شب) و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۶۵-۷۰ درصد نگهداری شد. جهت تعیین زمان مناسب آبیاری، در طول فصل رشد سطوح رطوبتی با توزین روزانه گلدان ها و افزودن آب به آنها انجام و میزان آب اضافه شده به هر گلدان نیز در طول فصل رشد اندازه گیری شد. زمان آبیاری به صورتی تعیین شد که رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه کم تر از ۳۰ درصد کل رطوبت خاک نشود. حجم آب آبیاری بر اساس میزان رطوبت خاک، عمق توسعه ریشه و مساحت گلدان تعیین شد و آب لازم با استفاده از استوانه مدرج وارد گلدان شد. نیاز کودی برای گیاه بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش خاک گلدان مورد آزمایش در نظر گرفته شد. بر این اساس کود نیتروژن نیز به

نتایج و بحث

خاک و به‌جاماندن املاح در سطح خاک و همچنین حرکت آب به سطح خاک می‌تواند منجر به انتقال املاح به لایه سطحی خاک شود و در نتیجه سبب افزایش شوری بیش‌تر در لایه سطحی شود. استفاده از آب با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و شوری بالای بیوجار که در حدود ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود از عوامل اصلی افزایش شوری خاک می‌باشند. آبتیابی ۱۰ درصد در این مطالعه نتوانسته است این میزان شوری را کاهش دهد و لذا پیشنهاد می‌شود که در سال اول به‌ویژه در صورت بالابودن شوری بیوجار میزان آبتیابی بالاتری مورد استفاده قرار گیرد تا اثرات سوء شوری باعث کاهش عملکرد محصول نشود. در پژوهشی گزارش کردند که با افزودن ۳ و ۵ درصد وزنی بیوجار تولیدشده از چوب‌پنبه، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تحت کشت گیاه اسفناج افزایش یافت (Younis *et al.*, 2015).

pH خاک

مقایسه اثر برهم‌کنش بیوجار و کود اوره بر pH خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری بین همه تیمارها وجود داشت و تیمارهای ۱۰۰ درصد کود اوره و بدون بیوجار برابر با ۷/۳۲ و ۵ درصد بیوجار و ۱۲۰ درصد کود اوره برابر با ۸/۳۷ به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین pH در خاک را ایجاد نمودند. نتایج نشان داد که تیمارهای ۵ درصد بیوجار و ۱۲۰ درصد کود اوره pH خاک را ۱۲/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲).

در این مطالعه پس از برداشت محصول ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، کلسیم و منیزیم، سدیم، پتاسیم، نیتروژن کل خاک و عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، سدیم، پتاسیم، نیتروژن کل خاک و عملکرد تر میوه فلفل دلمه‌ای در سطح احتمال یک درصد، کربن آلی و کلسیم + منیزیم خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر برهم‌کنش تیمارها بر میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر در جدول (۳) نشان داده شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، مقایسه اثر برهم‌کنش بیوجار و کود اوره بر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوجار به میزان ۸/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و بدون بیوجار به میزان ۴/۶۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. نتایج نشان داد که میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوجار ۴۱/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (شکل ۱). تبخیر از سطح

Table 3. Effects of biochar, Nitrogen, and interaction of Biochar × Nitrogen on chemical characteristics of the soil and yield fruit of bell pepper

Source of Variances	f	Mean of Square							
		EC	pH	Calcium and magnesium	Sodium	Potassium	Organic carbon	Total nitrogen	Wet yield fruit
Biochar	2	1.31ns	0.035ns	101.2ns	4436**	118602**	0.99ns	0.031*	1.49**
Nitrogen	2	0.45ns	0.74**	363.7**	7192**	233.3*	0.12ns	0.004ns	32.5**
Biochar×Nitrogen	8	5.39**	0.053**	370.3*	6572**	122555**	1.61*	0.014**	20.38**
Error	16	11.95	0.48	3817.1	3658	39148	72.4	0.044	26.3
CV%		14.03	2.17	40.06	12.7	26.9	49.2	18.38	29.9

** , * , ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.

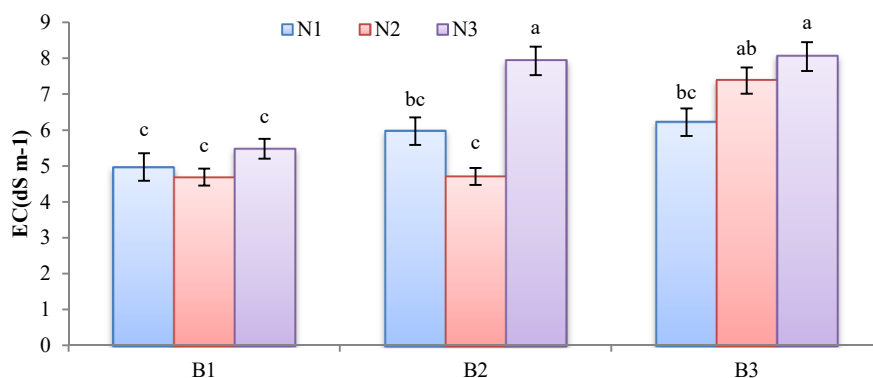


Figure 1. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer EC in soil. B₁=0%biochar, B₂=2 % biochar, B₃=5% biochar

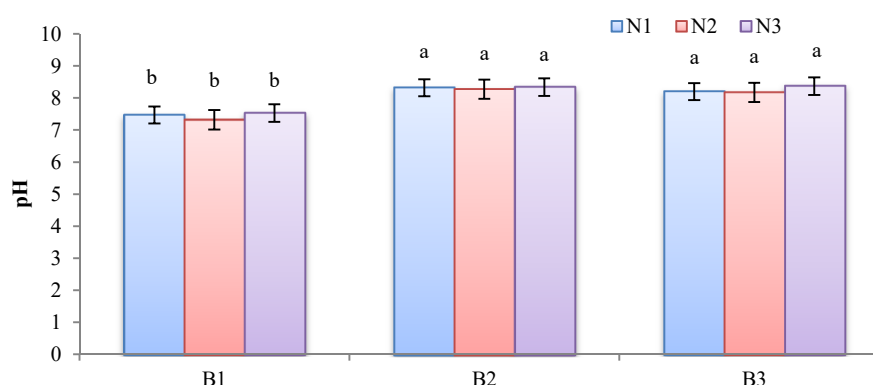


Figure 2. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer pH in soil. B₁=0%biochar, B₂=2 % biochar, B₃=5% biochar

دارای pH بالایی می‌باشند (Parechreh *et al.*, 2017). از دلایل دیگر افزایش pH خاک افزایش CEC خاک‌های اصلاح‌شده با بیوچار می‌باشند. در مطالعه گزارش کردند کاربرد بیوچارهای مختلف سبب افزایش pH خاک شده است که نتایج آنها با نتایج حاصل از مطالعه پیش رو مطابقت دارد (Zhang *et al.*, 2012).

غلظت کلسیم و منیزیم عصاره اشباع خاک

جدول (۳) مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای بیوچار و کود اوره بر کلسیم و منیزیم عصاره اشباع خاک پس از برداشت فلفل دلمه‌ای را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس اثر برهم‌کنش بیوچار و کود اوره بر

کود اوره و بیوچار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وضعیت pH خاک شد. در مطالعه حاضر سعی بر این بود که بیوچار از مواد اولیه‌ای تولید شود که دارای pH بالایی باشند. افزایش pH در اثر افزودن بیوچار، احتمالاً به دلیل زیاد pH (۹/۲) بیوچار افزوده‌شده به خاک است. دلیل افزایش pH در اثر کاربرد بیوچار به دمای تولید بیوچار و نوع ماده اولیه‌ای که بیوچار از آن تولید می‌شود، مرتبط است. با این حال، هنگامی که کود اوره به تنهایی استفاده شد، pH خاک با افزایش میزان نیتروژن نسبت به بیوچار افزایش کم‌تری یافت، درحالی‌که بیوچار به تنهایی pH خاک را افزایش داد. معمولاً بیوچارهای تولیدشده در دمای بالا دارای pH بالا هستند و برخی از مواد اولیه نیز

شاهد (صفر مگاگرم در هکتار بیوچار) میزان کلسیم خاک افزایش یافت (Pourmansour *et al.*, 2019).

غلظت سدیم عصاره اشباع خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر برهم‌کنش بیوچار و کود اوره در خاک دارای تأثیر معنی‌دار در سطح یک درصد بر میزان غلظت سدیم خاک شد (جدول ۳). همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد افزودن بیوچار به خاک‌ها سبب افزایش میزان غلظت سدیم خاک شده است. بیش‌ترین میزان سدیم در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوچار برابر با ۱۷۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر به‌دست آمد. کم‌ترین میزان غلظت سدیم خاک مربوط به تیمار ۷۵ درصد کود اوره و بدون بیوچار به میزان ۶۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر حاصل شد. میزان سدیم خاک با توجه به ۵ درصد بیوچار به‌کار رفته در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره ۲/۱ درصد بیش‌تر از شاهد شد (شکل ۴). افزایش میزان غلظت سدیم در خاک کاربرد بیوچار می‌تواند هم به‌علت این باشد که بیوچار مقداری سدیم دارد و هم می‌تواند بیان‌گر این موضوع باشد که بیوچار باعث افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در خاک شده در نتیجه کلسیم و منیزیم جذب سطحی کلونیدهای خاک شده و سدیم جذب سطحی شده کلونیدهای خاک را به داخل محلول خاک رها کرده است.

غلظت کلسیم و منیزیم خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان کلسیم و منیزیم در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۲ درصد بیوچار به میزان ۶۰/۵۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر و کم‌ترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و بدون بیوچار برابر با ۲۵/۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر به‌دست آمد (شکل ۳). کاربرد سطوح بیوچار در مقایسه با شاهد میزان کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. نتایج نشان داد که تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۲ درصد بیوچار تجمع کلسیم و منیزیم در خاک را ۵۸/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۳). دلیل بالاتر بودن میزان کلسیم در لایه سطحی به‌دلیل تبخیر از سطح خاک و نگهداشت آب بیش‌تر توسط بیوچار لایه سطحی می‌باشد. بیوچار منبعی مستقیم برای عناصر کلسیم و منیزیم می‌باشد و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بیوچار به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزودن مستقیم عنصر از بیوچار به خاک افزایش یابد. نتایج مطالعات نشان داده است که کاربرد ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ مگاگرم در هکتار بیوچار تولیدشده از کاه و کلش گندم در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش کلسیم در عصاره اشباع خاک تحت کشت گندم شد. به‌طوری‌که که در سطح ۱۰۰ مگاگرم در هکتار بیوچار در مقایسه با

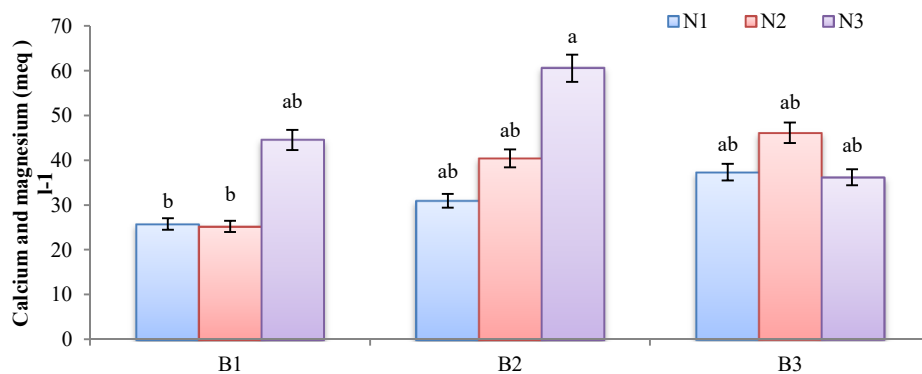


Figure 3. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer Calcium and magnesium in soil
 $B_1=0\%$ biochar, $B_2=2\%$ biochar, $B_3=5\%$ biochar

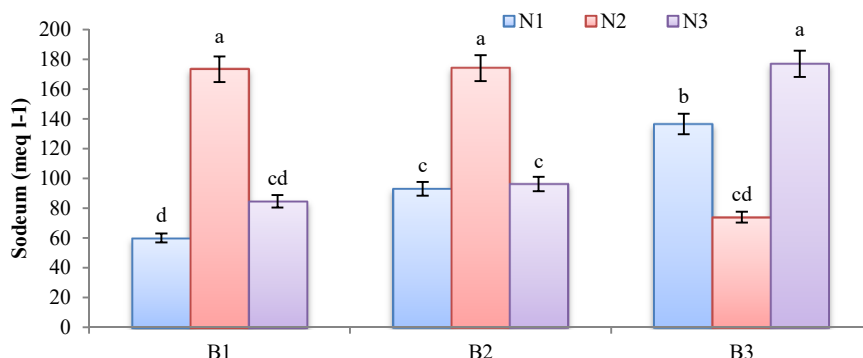


Figure 4. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer sodium in soil
B1=0%biochar, B2=2 % biochar, B3=5% biochar

بیوچار و کود اوره سبب افزایش معنی دار پتاسیم عصاره اشباع خاک شد. به طوری که در سطح ۵ درصد بیوچار و ۱۰۰ درصد کود اوره میزان پتاسیم عصاره اشباع ۹۶/۸ درصد بیش تر از میزان پتاسیم در سطح بدون بیوچار بود (شکل ۵). از طرف دیگر افزایش در میزان پتاسیم در تیمار دارای بیوچار ذرت علوفه ای می تواند به این علت باشد که بیوچار ذرت علوفه ای خود دارای میزان پتاسیم بالایی بوده و با افزودن بیوچار پتاسیم محلول خاک افزایش یافته است. بیوچار به دلیل تأثیر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی در افزایش یون های خاک از جمله پتاسیم نقش دارد و باعث دسترسی بهتر گیاه به این عنصر می شود، به علاوه بیوچار به دلیل دارا بودن عناصر غذایی در افزایش این عناصر در خاک مؤثر مؤثر است (Pühringer, 2016).

به دلیل آبشویی که در هر دور آبیاری صورت گرفته تیمارهایی که بدون بیوچار بوده با کمبود پتاسیم مواجه شدند. سایر پژوهش گران بیان کردند که مقدار پتاسیم در خاک های اصلاح شده با بیوچار افزایش یافته است و دلیل این افزایش را مقدار پتاسیم زیاد در خاکستر بیوچار اضافه شده دانستند. آنان گزارش کردند که افزودن سطوح ۱، ۰/۵ و ۲ درصد وزنی بیوچار تولید شده از پوست گردو در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس به خاک پس از ۶۷ روز سبب افزایش پتاسیم خاک شد (Novak et al., 2009).

کلسیم و منیزیم بیوچار جایگزین سدیم شده و سدیم در درون خاک را آزاد کرده و به دلیل عدم آبشویی مناسب خاک، در خاک تجمع نموده و باعث افزایش میزان سدیم خاک گردیده است. Chaganti et al. (2015) نیز بیان کردند که بیوچار غنی از کلسیم و منیزیم می باشد و این کلسیم و منیزیم بیوچار می تواند جایگزین سدیم در محل های تبدلی شود و سدیم را به درون خاک آزاد کرده و در نتیجه آبشویی آن را تسریع بخشد. در مطالعه ای گزارش کردند که افزودن ۱۲ مگاگرم در هکتار بیوچار تولید شده از چوب درخت افاقیا در خاک تحت کشت گندم، سبب افزایش سدیم موجود در خاک شد (Khalid Chaudhry et al., 2016).

غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس کاربرد بیوچار و کود اوره در خاک دارای تأثیر معنی داری در سطح یک درصد بر میزان پتاسیم محلول خاک داشت (جدول ۳). بیش ترین میزان افزایش غلظت پتاسیم در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوچار برابر با ۴۸۳/۳ میلی اکیوالان در لیتر به دست آمد، کم ترین میزان غلظت پتاسیم در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و بدون بیوچار برابر با ۱۱/۶ میلی اکیوالان در لیتر بود. نتایج نشان داد که افزایش

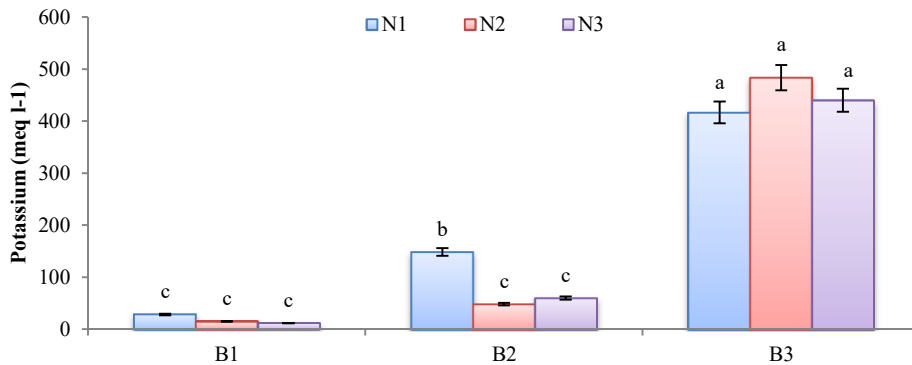


Figure 5. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer potassium in soil
B1=0%biochar, B2=2 % biochar, B3=5% biochar

حاصل از ضایعات گیاهی بر افزایش کربن آلی خاک اشاره کرده و دلیل آن را وجود درصد بالایی از کربن در بیوچارهای تولیدی عنوان کردند (Moradi et al., 2018).

غلظت نیتروژن کل خاک

جدول (۳) تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای بیوچار و کود اوره بر تجمع نیتروژن کل در خاک را نشان می‌دهد. تأثیر تیمارهای بیوچار و کود اوره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین ویژگی‌های مذکور (به‌روش دانکن) حاصل از تأثیر تیمارهای بیوچار نشان داد که در نیتروژن کل خاک، تفاوت معنی‌داری بین هر سه تیمار وجود داشت. تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوچار به میزان ۰/۳۹۲ درصد و تیمار ۷۵ درصد کود اوره و بدون بیوچار برابر با ۰/۱۹ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین نیتروژن کل در خاک را نشان داد. نتایج نشان داد که میزان نیتروژن کل خاک در تیمارهای ۱۲۰ درصد کود اوره و ۵ درصد بیوچار ۵۳/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همان‌گونه که از شکل (۷) نشان داده شده است، استفاده از بیوچار ذرت علوفه‌ای در سطح کاربرد ۵ درصد و افزایش کود اوره به خاک، میزان نیتروژن کل خاک را از ۷ درصد قبل از کشت به ۸۲/۲ درصد بعد از برداشت افزایش داد.

غلظت کربن آلی خاک

یکی از محدودیت‌های مهم خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود مواد آلی است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس کاربرد بیوچار و کود اوره در خاک دارای تأثیر معنی‌دار در سطح پنج درصد بر میزان کربن آلی خاک داشت. اما کاربرد سطوح مختلف کود اوره بر درصد کربن آلی خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزودن بیوچار به خاک‌ها سبب افزایش میزان کربن آلی خاک شده است (شکل ۶). بیش‌ترین میزان افزایش غلظت کربن آلی در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره، ۵ درصد بیوچار به میزان ۲/۵۸ درصد به‌دست آمد، کم‌ترین میزان غلظت کربن آلی در تیمار ۷۵ درصد کود اوره، بدون بیوچار به میزان ۰/۴ درصد شد. کربن آلی خاک در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره، ۵ درصد بیوچار در مقایسه با شاهد ۴/۱۶ برابر نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر شد (شکل ۶). افزایش میزان کربن آلی خاک با افزایش مصرف بیوچار مربوط است. با توجه به این‌که میزان ماده آلی خاک یکی از مؤلفه‌های مهم حاصل‌خیزی خاک است، افزودن بیوچار به خاک به دلیل کربن آلی بالای آن می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای جبران کمبود کربن و مواد آلی خاک و در نتیجه بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نیز حفاظت سلامت خاک باشد (Fredro, 2013). در پژوهشی به تأثیر

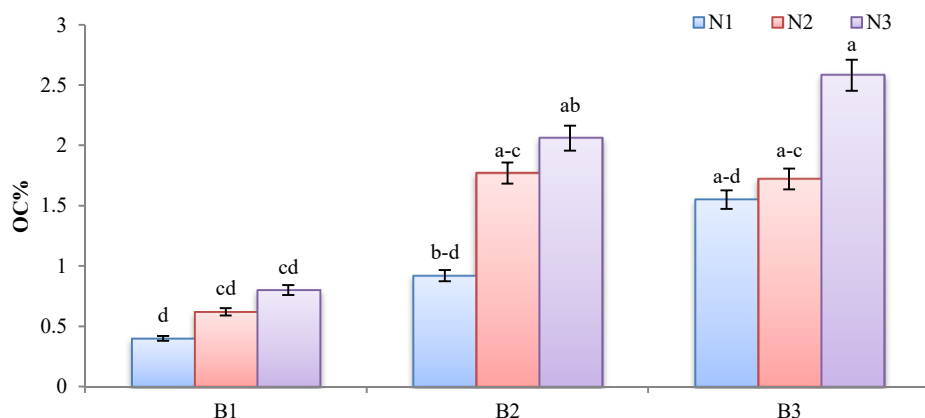


Figure 6. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer Organic carbon in soil B1=0%biochar, B2=2 % biochar, B3=5% biochar

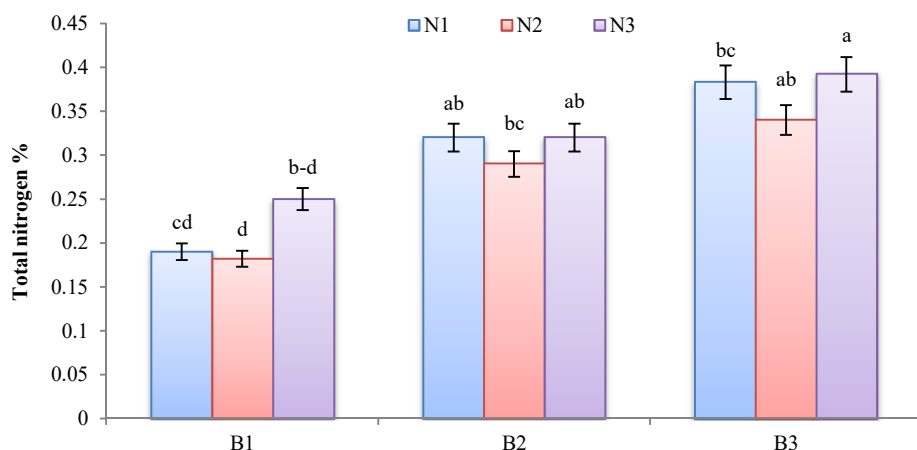


Figure 7. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer total nitrogen in soil B1=0%biochar, B2=2 % biochar, B3=5% biochar

در خاک مورد مطالعه گزارش کردند (Devband Hafshjani, 2016).

عملکرد تر میوه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تولید عملکرد تر فلفل دلمه‌ای تحت اثر برهم‌کنش بیوجار و کود اویره در سطح احتمال یک درصد قرار داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح بیوجار و کود اویره نشان داد که تفاوت مثبت و معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمارها بر عملکرد تر میوه مشاهده شد. بیش‌ترین

دلیل افزایش در تیمارهای حاوی بیوجار را می‌توان به توانایی بالای این ماده در نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی نیتروژن نسبت داد. همچنین وجود منافذ زیاد و سطح ویژه بالا در بیوجار موجب افزایش قدرت تبادل کاتیونی و افزایش عناصر غذایی در تیمارهای حاوی بیوجار می‌شود (Jemal & Abebe, 2016). بیوجار به همراه کودهای شیمیایی، معدنی‌شدن نیتروژن را با کاهش نسبت کربن به نیتروژن تسهیل کرده و نیتروژن کل خاک بهبود می‌یابد (Ali et al., 2015). نتایج نشان داده است که با کاربرد بیوجار حاصل از بیوگاس نیشکر، افزایش نیتروژن را

کاربرد کود نیتروژن به دلیل تحریک رشد ریشه و اندام هوایی موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Nielsen & Halvorson, 1991). پژوهش‌گران گزارش کردند که افزایش سطوح نیتروژن موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا به غیر از درصد روغن شد (Rabiee, 2000). مشخص شده است که نیاز درونی گیاه به یک عنصر غذایی توسط غیرفعال شدن فیزیولوژیکی آن عنصر در اثر نارسایی‌های تغذیه‌ای ناشی از شوری افزایش می‌یابد (Grattan & Grieve, 1994). در تیمارهای حاوی بیوچار وجود ۲ درصد بیوچار باعث عملکرد بیش‌تر نسبت به ۵ درصد بیوچار شد. بهبود عملکرد در کاربرد مقدار متعادل از بیوچار در مقایسه با مقادیر زیاد آن در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است. (Gokila & Baskar, 2015) نیز اثر افزودن سطوح ۵ و ۷/۵ تن در هکتار بیوچار و ۷۵ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده از کود شیمیایی را بر ویژگی‌های گیاه ذرت مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفی ذرت در تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار به همراه ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده از کود شیمیایی به دست آمد.

عملکرد تر میوه فلفل دلمه‌ای در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و بدون بیوچار به میزان ۸/۸۶ کیلوگرم در مترمربع به دست آمد، کم‌ترین میزان عملکرد تر میوه فلفل دلمه‌ای در تیمار ۷۵ درصد کود اوره و ۲ درصد بیوچار برابر با ۱/۶ کیلوگرم در مترمربع به دست آمد. در تیمار ۱۲۰ درصد کود اوره و بدون بیوچار ۶۱/۵ درصد افزایش و در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و بدون بیوچار ۸۱/۹ درصد عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با افزایش سطوح کود نیتروژن مصرفی، وزن تر میوه فلفل دلمه‌ای افزایش داشت (شکل ۸). بررسی اثر برهم‌کنش بیوچار و کود اوره بر عملکرد تر نشان داد که تأثیر میزان کود اوره بر تولید میوه گیاه فلفل دلمه‌ای، از تأثیر بیوچار بیش‌تر است. اما در تیمارهای بدون بیوچار میزان آبشویی نترات و جذب نترات توسط گیاه افزایش می‌یابد و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و سمیت گیاه می‌شود. استفاده از کود شیمیایی به میزان ۱۲۰ درصد به همراه آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و در نتیجه رشد بهینه گیاه گردیده است. به‌طورکلی

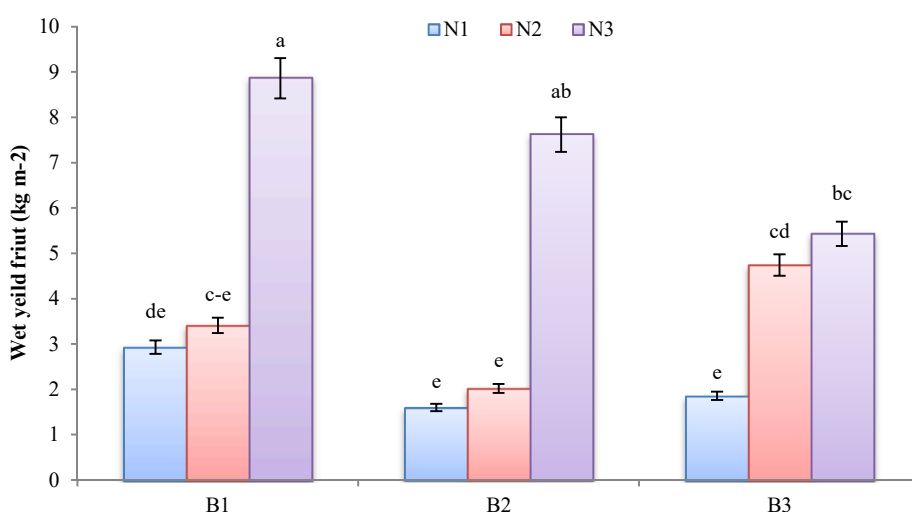


Figure 8. Effect treatment forage maize biochar and urea fertilizer on wet yield fruit bell pepper
 $B_1=0\%$ biochar, $B_2=2\%$ biochar, $B_3=5\%$ biochar

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد همه سطوح بیوپچار ذرت علوفه‌ای، سبب شورشیدن خاک شد. افزایش هدایت الکتریکی خاک احتمالاً به دلیل هدایت الکتریکی زیاد بیوپچار (۶/۷ دسی‌زیمنس بر متر) اضافه‌شده به خاک بود. افزایش استفاده از بیوپچار در خاک سبب افزایش بیش‌تر pH، کلسیم و منیزیم در خاک شد. میزان پتاسیم خاک با افزایش بیوپچار، به علت بالابودن مقدار پتاسیم در بیوپچار، افزایش یافته است. بنابراین می‌توان از آن به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک‌هایی که دارای کمبود پتاسیم هستند، استفاده نمود. از طرفی چون بیوپچار مورد استفاده حاوی سدیم نیز بوده است، افزودن آن به خاک سبب افزایش میزان سدیم در خاک شد. بیوپچار به دلیل افزایش مواد آلی خاک، باعث افزایش خلل‌و فرج و بهبود ساختمان خاک شد. کاربرد بیوپچار موجب افزایش چشم‌گیری در غلظت کربن آلی خاک در مرحله پایانی شد. بیش‌ترین مقدار آن در تیمار ۵ درصد بیوپچار و ۱۲۰ درصد کود اوره به مقدار ۲/۵۸ درصد مشاهده شد. افزایش استفاده از بیوپچار و کود اوره در خاک سبب نگهداشت و افزایش بیش‌تر نیتروژن در خاک شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده استفاده هم‌زمان بیوپچار و کود اوره تأثیر مثبتی بر عملکرد تر میوه فلفل دلمه‌ای داشت. افزودن کود اوره به خاک موجب افزایش عملکرد محصول بیش‌تر نسبت به بیوپچار از خاک شد. اما در تیمارهای بدون بیوپچار میزان آب‌سویی نیترات و جذب نیترات توسط گیاه افزایش می‌یابد و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و سمیت گیاه می‌شود. بنابراین استفاده از بیوپچار و کود اوره به‌صورت هم‌زمان به‌عنوان یک راه‌کار مؤثر مؤثر برای افزایش عملکرد گیاه و عناصر شیمیایی خاک مصرف شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی و با استفاده از اعتبارات پژوهشی صندوق حمایت از مبتکران و فناوران کشور به‌شماره ۹۹۰۱۵۸۰۶ انجام شده است، که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Ali, K., Arif, M. & Jan, T. (2015). Integrated use of biochar: A tool for improving soil and wheat quality of degraded soil under soil wheat-maize cropping pattern. *Pakistan Journal of Botany*, 47(1), 233-240.
- Azeem, M., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M., Imran, M., & Crowley, D. (2016). Effect of biochar amendment on soil microbial biomass, abundance, and enzyme activity in the mash bean field. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8(6), 1-13.
- Bednik, M., Medyńska-Juraszek, A., Dudek, M., Kloc, S., Kret, A., Łabaz, B & Waroszewski, J. (2020). Wheat Straw Biochar and NPK Fertilization Efficiency in Sandy Soil Reclamation. *Agronomy*, 10(4), 496.
- Chaganti, V.N., Crohn, D.M., & Simunek, J. (2015). Leaching and reclamation of biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 158, 255-265.
- Deoband Hafshjani, L. (2016). *Investigation of the effect of low-intensity and low-sediment application of sugarcane bagasse on the prevention of nitrate leaching in Khodak*. Doctoral dissertation of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- Freddo, A. (2013). *Biochar: for better or for worse?* Doctoral dissertation dissertation, University of East Anglia School of Environmental Science, England.
- Gokila, B., & Baskar, K. (2015). Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize in alfisol of Thoothukudi of Thamilandu, India. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 5(1), 152-155.

- Grattan, S.R. & Grieve, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrition relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1-4), 127-157.
- Guvili, A., Mousavi, A. A., & Kamkar Haghighi, A. (2016). Effect of cattle manure biochar and moisture stress on growth characteristics and spinach water use efficiency in greenhouse conditions. *Water research in agriculture*, 30(2), 259-243. (In Persian).
- Hamifar, Y. (2019). Water-borne patients. Hamadan University of Medical Sciences and Health Services, Fatemeh Hospital. (In Persian)
- Jemal, K., & Abebe, A. (2016). Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass (*Cymbopogon citracut* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4(2), 149-157.
- Khalid Chaudhry, U., Shahzad, S., Nadir Naqqash, M., Saboor, A., Subtain Abbas, M., Saeed F., & Yaqoob, S. 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Journal Biodivers Environment Science*, 9(1), 348-358.
- Kumar, S., Mastro, R., E. Lal, C. R., Sarkar, P., George, J. & Selvi, V. A. (2013). Biochar preparation from *Parthenium hysterophorus* and its potential use in soil application. *Journal of Ecological Engineering*, 55(3), 67-72.
- Mastro, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., & Ram, L.C. (2013). Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111, 64-71.
- Moradi, N., Sedghiani, M., H., & Sepehr, A. (2017). The effect of type and amount of biochar on some soil characteristics and usability of some nutrients in a calcareous soil. *Water and soil (agricultural sciences and industries)*, 4(31), 1246-1232. (In Persian)
- Nielsen, D. C., & Halvorson, A. D. (1991). Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal*, 83(6), 1065-1070.
- Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L. Ahmedna, M., Watts, D.W., & Niandou, M.A.S. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a Southeastern coastal Plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112.
- Lei, O., & Zhang, R. (2013). Effects of bio-chars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Soils and Sediments*, 13(9), 1561-1572.
- Leghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., Hussain Talpur, K., Bhutto, T.A., Wahocho, S.A., & Lashari, A.A. (2016). Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-2016.
- Lehmann, J., Da Silva Jr, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & 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(2), 343-357.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management. Science and Technology, *Earthscan. London, UK. Forest policy and Economics*, 11(7), 535-536.
- Parechreh, M., Sadeghzadeh, F., Bahmanyar, M.A., Ghajar sepanlo, M. (2017). Effect of rice straw biochar and Nrad wood chips on chemical properties of saline-sodium saline soil with clay loam texture. *Journal of Soil and Water Science*, 27(4), 49-61.
- Pühringer, H. (2016). Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya. Master's thesis, Independent Project in Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Pourmansour, S., Razaqi, F., Sepaskhah, A., & Mousavi, A. (2019). Study of growth and yield of wheat under different levels of biochar and low irrigation in greenhouse conditions. *Water and Irrigation Management*, 9(1), 28-25. (In Persian)
- Rabiee, M. (2000). Effect of row spacing and nitrogen fertilizer rates on grain yield and agronomic characteristics of rapeseed cv. Hayola 308 as second crop in paddy fields of Guilan in Iran. *Journal of Crops Seed and Plant*, 27(4), 399- 415. (In Persian).
- Razaqi, F., & Rezaei, n. (2017). The effect of different levels of biochar on the physical properties of soil with different textures. *Protection of water and soil resources*, 7(1), 88-75. (In Persian)
- Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., & Fasina, A. (2019). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(3), 295-308.
- Younis, U., Athar, M., Malik, S.A., Raza Shah, M.H., & Mahmood, S. (2015). Biochar impact on physiological and biochemical attributes of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in nickel contaminated soil. *Global Journal of Environmental Science Management*, 1(3), 245-254.

اکرم حسین نژاد میر، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره، عبدالمجید لیاقت، سهیل کریمی، فریرز عباسی

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil* 327(1), 235-246.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from central China plain. *Plant and Soil*, 351(1), 263-275.