

Effects of mineral biochar on soil properties and vegetative growth of *Fortuynia bungei*, *Calligonum comosum*, and *Ziziphus spina-christi*

A. Darini¹, M. Jafary^{2*}, A. Tavili³, H. Arzani⁴ and S.A. Javadi⁵

- 1- PhD student in Range Management, Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 2*- Corresponding author, Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: jafari@ut.ac.ir
- 3- Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran
- 4- Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran
- 5- Associate Professor, Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 07/31/2022

Accepted: 06/14/2023

Abstract

Background and objectives

Although man-made biochars positively affect soil properties and plant performance, their preparation and use, especially on a large scale, are costly. On the other hand, mineral biochar can be considered an alternative method. However, there is no information about the effect of this type of biochar and its method of use on soil characteristics and plant performance.

Materials and methods

Effect of levels of 0 (control), 5, 12, and 25% of mineral biochar (obtained from the mine of Koozbanan city, Kerman province) in three forms of use (including mixed with surface soil, mixed with deep bottom soil, and mixed with total volume soil) on the vegetative performance of bush *Fortuynia bungei*, shrub *Calligonum comosum* and tree *Ziziphus spina-christi* were evaluated in a completely randomized factorial design in the nursery during four months. Cultivation operations in two stages included the germination section (without biochar) and studying the treatments' effects on the species' vegetative characteristics. The seeds were planted in pots containing 100 grams of sand. After sprouting the seedlings and their three to five leaves, one seedling was selected from each pot and transferred to larger pots containing biochar. The amount of water required was determined based on the measurement of soil field capacity. Seedling characteristics were measured at 20-day intervals for four months, and biomass production was measured at the end of the experimental period. At the end of the test period, some soil properties were examined, including organic carbon, total nitrogen, absorbable phosphorus, absorbable potassium, acidity, and electrical conductivity.

Results

The application of different levels and the manner of using biochar to the evaluated characteristics showed that the most noticeable effect was related to the level of biochar. In other words, although using biochar or the cultivated species resulted in varying results, the amount of biochar had the greatest effect on the evaluated characteristics. The findings showed



the effect of higher levels of biochar and the mixture of biochar with the total soil volume on plant species performance ($Sig < 0.005$). Also, the species performed differently, so *C. comosum* had the highest growth height (65 cm), and *F. bungei* had the lowest growth height (19 cm). The method of using biochar also had a significant effect on plant biomass, so the highest biomass was related to *F. bungei* (9.2 grams) under the influence of 25% biochar mixed with the entire soil profile. The levels of biochar or plant species alone affected soil properties. However, the combined effect of the species and the level of biochar used on soil properties was not noticeable. With the application of 25% of biochar, nitrogen (from 0.14 to 0.25%), organic matter (0.88 to 4.1%), and electrical conductivity (0.76 to 1.33 dS/m) showed the most changes ($Sig < 0.001$).

Conclusion

By increasing biochar levels, improved soil properties and plant performance were observed. On the other hand, biochar application affects plant performance depending on species. The method of using biochar also significantly changed the performance of cultivated plants so that, considering the economic discussion of using biochar, its mixture with the entire soil profile leads to higher production than mixing biochar with surface or deep soil. However, more studies are needed regarding biochar's effect on soil properties and plant performance.

Keywords: Plant establishment, Plant performance, Soil fertility, Arid and semi-arid areas.

تأثیر بیوچار معدنی بر ویژگی‌های خاک و رشد رویشی بوته قلم (*Fortuynia bungei*)، درختچه اسکنبیل (*Calligonum comosum*) و درخت کُنار (*Ziziphus spina-christi*)

عباس درینی^۱، محمد جعفری^{۲*}، علی طویلی^۳، حسین ارزانی^۴ و سید اکبر جوادی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 ۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: jafari@ut.ac.ir
 ۳- دانشیار، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۴- استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۵- دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

چکیده

سابقه و هدف

اگرچه بیوچارهای انسان‌ساز تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان دارند، اما تهیه و استفاده از آن‌ها مخصوصاً در مقیاس وسیع هزینه بالایی را به دنبال دارد. از طرفی بیوچار معدنی به عنوان یک روش جایگزین می‌تواند مد نظر قرار بگیرد، اما اطلاعاتی از تأثیر این نوع بیوچار و روش استفاده آن بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

تأثیر سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار معدنی (تهیه‌شده از معدن شهرستان کوهبنان- استان کرمان) به سه شکل استفاده (شامل مخلوط با خاک سطحی، مخلوط با خاک عمقی کف و مخلوط با کل حجم خاک) بر عملکرد رویشی بوته قلم (*Fortuynia bungei*)، درختچه اسکنبیل (*Calligonum comosum*) و درخت کُنار (*Ziziphus spina-christi*) طی ۴ ماه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در نهالستان مورد ارزیابی قرار گرفت. عملیات کشت در دو مرحله شامل بخش جوانه زنی (بدون بیوچار) و بخش مطالعه اثرات تیمارها بر ویژگی‌های رویشی گونه بود. بذور هر گیاه، در گلدان‌های حاوی ۱۰۰ گرم ماسه بادی کشت شد. پس از رویش نهال‌ها و سه تا پنج برگی شدن آن‌ها، در هر گلدان یک نهال انتخاب و به گلدان‌های بزرگ‌تر حاوی بیوچار با مقادیر ذکرشده منتقل شدند. مقدار آب مورد نیاز بر مبنای اندازه‌گیری ظرفیت زراعی خاک موردنظر تعیین گردید. خصوصیات نهال‌ها به صورت بازه‌های زمانی ۲۰ روزه طی مدت چهار ماه انجام و در انتهای دوره آزمایش، میزان تولید هر گیاه کشت شده در گلدان‌ها، اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در انتهای دوره آزمایش برخی از خصوصیات خاک شامل کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک اندازه‌گیری شد.

نتایج

کاربرد سطح مختلف و نحوه استفاده بیوچار بر ویژگی‌های مورد ارزیابی نشان داد که بیش‌ترین تأثیر قابل محسوس متأثر از سطح بیوچار بوده است. به عبارتی اگرچه نحوه استفاده بیوچار و یا گونه کشت شده نتایج مختلفی را نشان داد، اما میزان بیوچار مورد استفاده بیش‌ترین تأثیر را بر خصوصیات مورد ارزیابی داشت. یافته‌ها مبین تأثیر سطوح بالاتر بیوچار و نیز مخلوط بیوچار با کل حجم خاک بر عملکرد گونه‌های گیاهی بود ($sig.<0.005$). همچنین عملکرد گونه‌ها نسبت به یکدیگر متفاوت بود، به طوری که گونه

اسکنیبل بیش‌ترین (۶۵ سانتیمتر) و گونه قلم کمترین (۱۹ سانتیمتر) ارتفاع رشد را داشت. نحوه استفاده بیوچار نیز تأثیر معنی‌داری بر زیست‌توده گیاهان داشت به طوری که بیش‌ترین تولید گونه‌ها نیز مربوط به بوته قلم (۹/۲ گرم) تحت تأثیر استفاده ۲۵ درصد بیوچار به شکل مخلوط با کل پروفیل خاک بوده است. سطوح بیوچار و یا گونه گیاهی به تنهایی برخی خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار دادند، اما تأثیر ترکیبی گونه و سطح بیوچار مورد استفاده بر خصوصیات خاک محسوس نبود. با کاربرد ۲۵ درصد بیوچار، مقادیر نیتروژن (از ۰/۱۴ به ۰/۲۵ درصد)، ماده آلی (۰/۸۸ به ۴/۱ درصد) و هدایت الکتریکی (۰/۷۶ به ۱/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر) بیش‌ترین تغییرات را نشان دادند ($Sig. < 0.001$).

نتیجه‌گیری

با افزایش سطح بیوچار، بهبود خصوصیات خاک و عملکرد گیاهان مشاهده شد. از سویی عملکرد گیاهان بسته به گونه تحت بیوچار متفاوت بود. روش کاربرد بیوچار نیز به شکل محسوس عملکرد گیاهان کشت شده را دست‌خوش تغییر نمود به طوری که با در نظر گرفتن بحث اقتصادی استفاده از بیوچار، مخلوط آن با کل پروفیل خاک نسبت به روش مخلوط بیوچار با خاک سطحی یا عمقی، تولید بالاتر را به همراه داشت. با این حال مطالعات بیشتری در خصوص تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان لازم است.

واژگان کلیدی: استقرار گیاه، عملکرد گیاه، حاصلخیزی خاک، مناطق خشک و نیمه‌خشک.

مقدمه

افزایش رشد جمعیت و نیازهای غذایی، استفاده از نهاده یا کودها برای بهبود عملکرد گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. افزایش رویکرد بشر به نهاده‌های غیرطبیعی و اغلب شیمیایی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی، فزونی انواع بیماری‌ها و مشکلات زیست‌محیطی را منجر شده است (Semida et al., 2019). لذا کودهای بیولوژیک در مقایسه با کودهای شیمیایی از منافع اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی برخوردار هستند. این کودها علاوه بر صرفه اقتصادی، باعث پایداری منابع خاک و حاصلخیزی آن، حفظ توان تولید در درازمدت، تجزیه ضایعات کشاورزی و سمیت‌زدایی خاک‌های آلوده می‌گردد. کاربرد کودهای آلی در خاک در راستای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی کودهای شیمیایی و نیز بهره‌گیری از ضایعات کشاورزی راهکاری مناسب جهت حفظ توسعه و مدیریت پایدار منابع خاک می‌باشد (Aalipour et al., 2015). طی چند دهه گذشته، کاربرد بیوچار توجه جامعه علمی را به خود جلب کرده است. بیوچار، یک نرم‌کننده خاک سازگار با محیط‌زیست، با استفاده از چندین فرآیند ترموشیمیایی تولید می‌شود. دارای ویژگی‌های منحصر به فردی مانند مساحت

پوشش گیاهی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جوانب گوناگونی از جمله کنترل سرعت باد و فرسایش بادی، ذخیره‌سازی نزولات آسمانی، افزایش میزان مواد آلی و معدنی خاک و تسریع فرآیندهای خاک‌سازی، ترسیب کربن موجود در هوا و سرانجام از دید اجتماعی، عملکردهای زیبایی‌شناسی و ایجاد چشم‌اندازهای زیبا اهمیت بسزایی دارد (Azarnivand et al., 2016; Tavili et al., 2019). از طرفی پوشش گیاهی به مرور زمان در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی دچار تغییر شده که شرایط و عملکرد بوم‌سازگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sarli et al., 2019). لذا بقای انسان‌ها مخصوصاً در مناطق خشک به پوشش گیاهی اندک وابسته است و انسان در تلاش است تا با بهبود وضعیت پوشش گیاهی، عرصه را برای بقای خود مساعد نماید. بنابراین انتخاب گونه‌های مناسب که بتوانند عوامل اقلیمی و خاکی مناطق خشک را به خوبی تحمل کرده و تحت شرایط تنش‌زا تولید خود را بهبود یا افزایش دهد، باید مورد توجه و در اولویت قرار گیرد (Yazdanshenas et al., 2019) در دهه‌های اخیر به دلیل

است (Major *et al.*, 2012). مطالعات نشان می‌دهند که بیشتر انواع بیوچار به دلیل داشتن سطوح تبادل زیاده می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک شوند. افزودن بیوچار موجب می‌گردد که کارایی استفاده از عناصر غذایی افزایش یابد (Nikraves *et al.*, 2019; Chrysargyris *et al.*, 2020). اما کارایی و هزینه تهیه بیوچار بر اساس ماده اولیه و در دسترس بودن آن متفاوت می‌باشد که این امر اولویت استفاده از نوع بیوچار را مشخص می‌کند. لذا استفاده از بیوچارهای معدنی برای بهبود عملکرد گیاهان در آینده جایگاه ویژه‌ای پیدا خواهد کرد. بیوچارهای معدنی به دلیل هزینه نسبتاً پایین در مقایسه با بیوچارهای ساخت بشر، توجیه اقتصادی دارند. در واقع اگر بیوچار معدنی موجود باشد، هزینه تهیه و استفاده از آن‌ها بسیار کم است. انواع مختلفی از بیوچار معدنی برای استفاده در مقیاس مختلف وجود دارد (Ahmad *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2021). لذا آنچه در این میان مغفول مانده تأثیر بیوچار معدنی و نحوه استفاده آن بر گونه‌ها یا فرم‌های رویشی مختلف مانند بوته، درختچه، و درخت می‌باشد که اثرات آن می‌تواند بر عملکرد این گونه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر واقع گردد. بدین ترتیب با در نظر گرفتن گونه‌های بومی ارزشمند که مقاومت نسبی در مقابل تنش‌های محیطی را نیز دارند و لزوم بهبود عملکرد آن‌ها به روش‌های مقرون به صرفه، لذا در این پژوهش بوته قلم (*Fortuynia bungei*)، درختچه اسکنبیل (*Calligonum comosum*) و درخت کُنار (*Ziziphus spina-christi*) به عنوان گونه‌های منتخب مورد بررسی قرار گرفتند.

کُنار به شکل درخت و یا درختچه همیشه سبز با کاربرد دارویی و خوراکی و صنعتی می‌باشد (Alihoury *et al.*, 2017). گونه اسکنبیل درختچه‌ای عموماً به ارتفاع ۲ گاهی تا ۳ متر، و برای منظرسازی حاشیه جاده‌ها و اطراف بزرگراه‌ها مناسب می‌باشد (Alihoury *et al.*, 2017) که در خشک‌سالی‌ها و کمبود علوفه، در تغذیه دام‌ها بسیار مفید و مؤثر می‌باشد. این گیاه از خوش‌خوراکی خوبی برخوردار بوده و ارزش رجحانی آن برای شتر بیشتر است (Danaie

Hossain *et al.*, 2020). تخلخل و بارهای سطحی است (Hossain *et al.*, 2020; Chrysargyris *et al.*, 2020) که می‌تواند مواد مغذی در خاک را به روش‌های مختلفی تحت تأثیر قرار دهد و به عنوان منبع مواد مغذی برای گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاک لحاظ گردد (Li *et al.*, 2017; Hossain *et al.*, 2020). اغلب تحقیقات بر روی مقرون به صرفه بودن و ویژگی‌های سازگار با محیط‌زیست، مانند افزایش ترسیب کربن و اصلاح خاک آلوده توسط بیوچار متمرکز شده است. به طور کلی بیوچار خصوصیات مختلف فیزیکی (از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی)، شیمیایی (pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت میکروبی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود و با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه، موجب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Khadem *et al.*, 2017).

در سال‌های اخیر به دلیل موضوع جهانی تغییرات آب و هوایی و مدیریت خاک، استفاده از بیوچار بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به طوریکه علاوه بر جنبه بهبود خصوصیات خاک، بیوچار با پایداری بالای، به منظور مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی و تولید انرژی تولید می‌شود. بیوچار می‌تواند با اهداف گوناگونی مانند کاهش گازهای گلخانه‌ای، ذخیره کربن و غیره به خاک اضافه شود (Biederman & Harpole, 2017). لذا استفاده از بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته است، چرا که مصرف آن منجر به وقوع طیف وسیعی از فعل‌وانفعالات فیزیکی، شیمیایی و زیستی در خاک شده که در نهایت پاسخ خاک و گیاه را دست‌خوش تغییراتی مثبت قرار داده که مهم‌ترین آن‌ها بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک می‌باشد.

در بسیاری از مطالعات با اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک، بیوچار را ماده‌ای سودمند جهت حاصلخیزی خاک برشمردند که بر خارج کردن عناصر شیمیایی شامل انواع مختلف یون‌های فلزی، مؤثر است. همچنین سبب جذب عناصر غذایی آنیونی همچون یون‌های فسفات نیز می‌گردد

کرمان انجام شد.

روش انجام تحقیق

در آزمایش حاضر اثر دو عامل سطوح مختلف مصرف بیوچار نسبت‌های ۰ (شاهد)، ۱۲,۵ و ۲۵ درصد جرمی بر اساس خاک گلدان‌ها} و روش مصرف بیوچار {مخلوط با ۱۰ سانتیمتر خاک سطح گلدان (MTS)، مخلوط با ۱۰ سانتیمتر خاک کف گلدان (MSS) و مخلوط با کل خاک گلدان (MWS)} بر رشد رویشی ۳ گونه گیاه (بوته قلم، درختچه اسکنبیل و درخت کُنار) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طی مدت ۴ ماه انجام شد. کشت در گلدان‌هایی (با قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر) محتوی ۲ کیلوگرم ماسه بادی انجام شد. برای این منظور از ماسه‌های موجود در منطقه که از نظر غذایی ضعیف می‌باشند، استفاده شد. همچنین بیوچار معدنی مورد استفاده از معدن واقع در شهرستان کوهنجان از توابع استان کرمان تهیه شد. برخی از ویژگی‌های بیوچار مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

(al., 2017). بوته قلم گیاهی چندساله، با قاعده چوبی، با پراکندگی و گستره وسیع در نواحی بیابانی که به واسطه سازگاری شدید به مناطق خشک و بیابانی و ارزش‌های علوفه‌ای، حفاظتی و سیاحتی بوده که می‌توان با حفظ و توسعه آن، در ظرفیت‌سازی عرصه‌های بیابانی اقدام نمود (Mohebi et al., 2017).

از آنجایی که اصلاح خاک و استقرار و بهبود عملکرد گونه‌های مرتعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای اهمیت می‌باشد، بنابراین در این پژوهش اثرات سطوح مختلف بیوچار معدنی به عنوان یک روش مقرون به صرفه که به سه شکل مختلف با پروفیل خاک مخلوط شدند، بر ویژگی‌های رویشی بوته قلم، درختچه اسکنبیل و درخت کُنار و نیز بر خصوصیات خاک در نهالستان مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

این طرح در سال ۱۳۹۸ در نهالستان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری منطقه جیرفت و کهنوج در جنوب استان

جدول ۱- مقادیر برخی از ویژگی‌های بیوچار مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Values of the biochar properties used in experiment

N (%)	OC (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	EC (ds/m)	pH
0.39	3.71	18.36	320	6.19	6.73

بدون اعمال هیچ گونه پیش‌تیمار و قارچ کش، در گلدان‌های حاوی ۱۰۰ گرم ماسه بادی کشت شد. پس از رویش نهال‌ها و سه تا پنج برگی شدن آن‌ها، در هر گلدان یک نهال انتخاب و به گلدان‌های بزرگ‌تر حاوی بیوچار با مقادیر ذکر شده منتقل شدند. آبیاری گلدان‌ها به طور یکسان و با دوره زمانی هفته‌ای یک‌بار انجام شد. برای آبیاری گلدان‌ها از آب لوله‌کشی چاه موجود در نهالستان (pH معادل ۷/۱، هدایت الکتریکی معادل ۱۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و مقادیر کلسیم، سدیم، منیزیم به ترتیب معادل ۹/۸، ۳/۱ و ۹/۹ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شد. مقدار آب مورد نیاز بر مبنای اندازه‌گیری ظرفیت زراعی (FC)

بذور گونه‌های قلم، اسکنبیل و کُنار از موسسه پاکان بذور اصفهان تهیه و برای آزمایش جوانه‌زنی در آزمایشگاه با استفاده از روش آزمون استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پیش از انجام آزمایش تیمارها، آزمون استاندارد بر بذور گونه‌ها انجام شد که ضریب بذر زنده خالص معادل ۰/۹۸ به دست آمد. با توجه به اینکه هدف از این مطالعه بررسی اثر بیوچار بر ویژگی‌های رویشی گونه‌ها بود و نه خصوصیات جوانه زنی آن‌ها، لذا عملیات کشت در دو مرحله شامل بخش جوانه زنی (بدون بیوچار) و بخش مطالعه اثرات تیمارها بر ویژگی‌های رویشی گونه بود. بدین منظور، در ابتدا پنج عدد بذر از هر گیاه

به روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند.

آنالیز داده‌ها

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، برای مقایسه میانگین تیمارها، آنالیز واریانس دو طرفه و آنالیز ترکیبی انجام شد. رتبه‌بندی داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (MRT) در سطح ۵ درصد خطا با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.17.01 انجام شد.

نتایج

عملکرد گیاه تحت تیمارهای گونه، سطح بیوچار و نحوه کاربرد بیوچار

بر اساس نتایج به دست آمده، خصوصیت ارتفاع گیاهان ۲۰ روز بعد از کشت تغییرات معناداری را در سطح ۱ درصد خطا نشان داد. به طوری که میزان ارتفاع گونه‌ها شدیداً تحت تأثیر گونه گیاهی تغییر نمود. همچنین اثرات ترکیبی گونه-میزان بیوچار بر مقدار ارتفاع گیاه طی این مدت تأثیر معناداری را در سطح ۵ درصد خطا نشان داد (جدول ۲).

شکل ۱: الف و ب ارتفاع گونه‌های کشت شده را در طی ۲۰ روز بعد از کشت برای گونه‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، گونه اسکنیل به شکل معنی‌داری نسبت به دو گونه دیگر بیش‌ترین ارتفاع رشد را داشته است. کمترین ارتفاع معادل ۱ سانتیمتر نیز مربوط به بوته قلم بود. همچنین اثرات ترکیبی گونه-میزان بیوچار موجب تغییر معنی‌دار (Sig.=۰/۰۵) ارتفاع گیاه شده است. ارتفاع گیاهان ۴۰ روز بعد از زمان کشت برای گونه‌های مختلف و تحت سطوح مختلف بیوچار معنی‌دار بود (Sig.=۰/۰۱). همچنین اثرات متقابل گونه-میزان بیوچار بر ارتفاع گیاه به شکل معنی‌داری موجب تغییر این خصوصیت شده‌اند. با توجه به نتایج با افزایش سطح بیوچار مورد استفاده، ارتفاع هر گونه گیاهی مقادیر بالاتری را نشان داده است (شکل ۱: ج و د).

خاک موردنظر تعیین گردید، بطوریکه حجم آب داده‌شده به گلدان‌ها و حجم زه‌آب خروجی از گلدان اندازه‌گیری و مقدار آب مورد نیاز تعیین شد، تا گیاهان کشت شده بدون تنش رطوبتی رشد کنند. بدین ترتیب در هر نوبت آبیاری مجموعاً مقدار ۲۰۰ سی‌سی آب به هر گلدان داده شد. همچنین مقدار تبخیر تعرق گیاهی بر اساس مقدار مرجع برای این منطقه در حدود ۶ میلی‌متر در روز در محاسبات اعمال شد (Zareabayneh et al., 2011)، که این حجم آب با توجه به مساحت گلدان محاسبه و به صورت روزانه بر خاک سطح گلدان‌ها اعمال گردید. ارزیابی خصوصیات نهال‌ها به صورت بازه‌های زمانی ۲۰ روزه طی مدت چهار ماه انجام و در انتهای دوره آزمایش، میزان تولید هر گیاه کشت شده در گلدان‌ها تحت تیمار مربوطه، اندازه‌گیری و ثبت شد.

همچنین در انتهای دوره آزمایش برخی از خصوصیات خاک شامل کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین هدایت الکتریکی از هر نمونه اشباع خاک با استفاده از کاغذ صافی عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه Conductometer مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع به دست آمد. مقدار اسیدیته خاک، از روش گل اشباع با استفاده از pH متر (Corning مدل ۱۲۰ متر اهم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد کربن آلی، به هر نمونه ۱ گرمی خاک مقدار ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرمات پتاسیم و همچنین مقدار ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در محلی ثابت قرار داده شدند، سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و حدود ۱۰ قطره شناساگر ارتوفناترولین فرو به هر نمونه اضافه و تیتراسیون نمونه‌ها با محول سولفات انجام شد و مقدار سولفات مصرف شده برای هر نمونه را یادداشت نمودیم. مقدار کربن آلی هر نمونه خاک با استفاده از فرمول مربوطه محاسبه گردید. همچنین مقدار ازت کل به روش Kjeldahl (۱۸۸۳)، فسفر قابل جذب به روش Olsen و Sommers (۱۹۸۲) و پتاسیم قابل جذب

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات گونه، میزان و نحوه مصرف بیوچار بر درصد تغییر ارتفاع گیاه در گلدان طی بازه‌های زمان مختلف
Table 2- Variance analysis of the effects of species, amount and method of biochar application on the percentage change of plant height in the pot during different time intervals

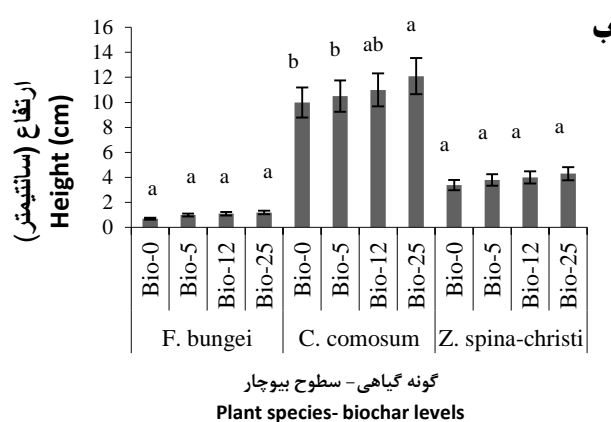
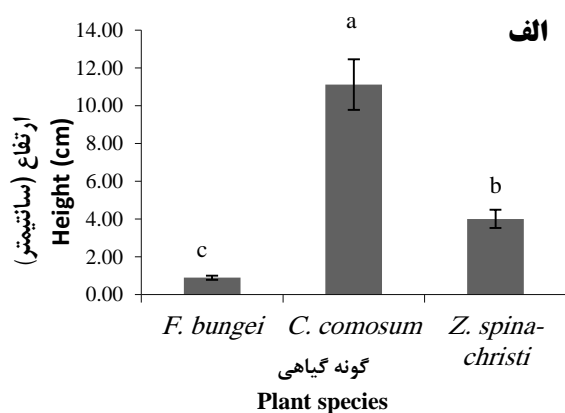
20days	20days	20days	20days	20days	20days	20days	20days	Df	منبع تغییرات Source
7854.6**	311179.1**	32109.3**	31117.8**	29264.1**	4768.2**	1316.6**	2		Species (A)
									Biochar
841.4**	631.3**	825.5**	627.2**	282.3**	0.40 ^{ns}	1.09 ^{ns}	2		application
									method (B)
232.7*	591.5**	474.4**	598.4**	113.8*	23.80 ^{ns}	1.45 ^{ns}	3		Amount of
									biochar (C)
658.41*	291.50 ^{ns}	264.14 ^{ns}	291.57 ^{ns}	251.17 ^{ns}	4.55 ^{ns}	0.516 ^{ns}	4		A*B
241.3*	207.84 ^{ns}	2115.78 ^{ns}	207.84 ^{ns}	178.51*	38.35**	2.114*	6		A*C
154.45 ^{ns}	114.93 ^{ns}	114.80 ^{ns}	114.93 ^{ns}	78.08 ^{ns}	5.42 ^{ns}	0.581 ^{ns}	6		B*C
107.04 ^{ns}	81.65 ^{ns}	69.18 ^{ns}	81.69 ^{ns}	32.53 ^{ns}	2.57 ^{ns}	0.230 ^{ns}	12		A*B*C

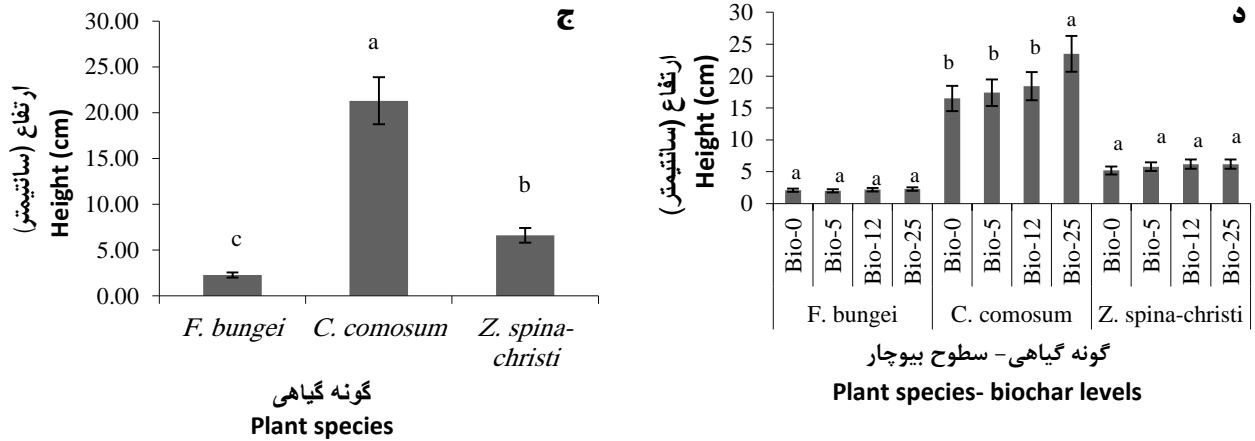
** : معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، *** : معنی دار در سطح احتمال یک درصد، ns : عدم معنی داری.

*: Significant at 5% level of probability, **: Significant at 1% level of probability, ns: Not-significant difference.

ترکیبی نحوه استفاده بیوچار* گونه گیاهی در سطح ۵ درصد خطا موجب تغییر شده است. تأثیر عوامل ترکیبی نحوه استفاده بیوچار* گونه گیاهی* میزان بیوچار و نحوه استفاده بیوچار* میزان بیوچار بر این خصوصیت معنادار نبوده است (شکل ۲).

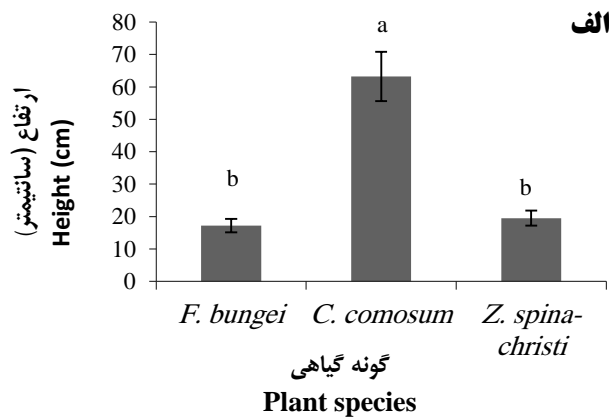
تغییر خصوصیت ارتفاع گیاهان طی ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ روز بعد از زمان کشت در گلدان مشابه تغییرات بین گونه‌ها مشابه تغییرات دوره قبل بودند و گونه اسکنبیل بیشترین میزان رشد را داشته است (جدول ۱). خصوصیت ارتفاع گیاه ۱۲۰ روز بعد از کشت در گلدان تحت تأثیر عوامل گونه گیاهی، نحوه استفاده بیوچار در سطح ۱ خطا و اثرات

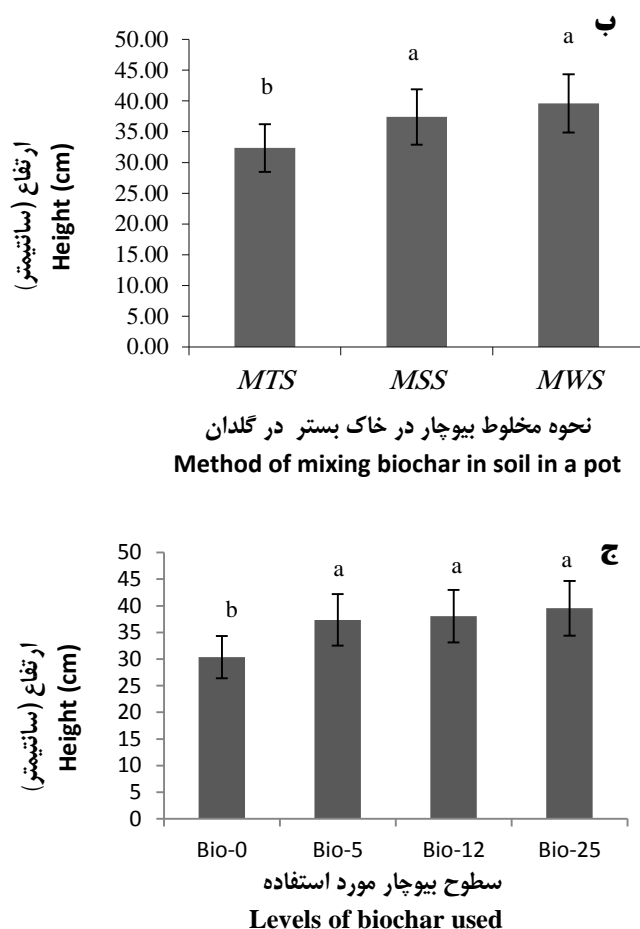




شکل ۱- ارتفاع گیاه تحت تأثیر سطوح گونه- میزان بیوچار، ۲۰ (الف، ب) و ۴۰ (ج، د) روز بعد از زمان کشت؛ Bio-0، Bio-0، Bio-0 و Bio-0 به ترتیب سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار مورد استفاده می‌باشد؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 1- Plant height under the influence of species-treatment levels, 20 (a, b) and 40 (c, d) days after planting; Bio-0, Bio-5, Bio-12 and Bio-25 are level of 0 (control), 5, 12 and 25% of biochar application, respectively; unsimilar letters show significant differences at 5% level of probability by Duncan's test.



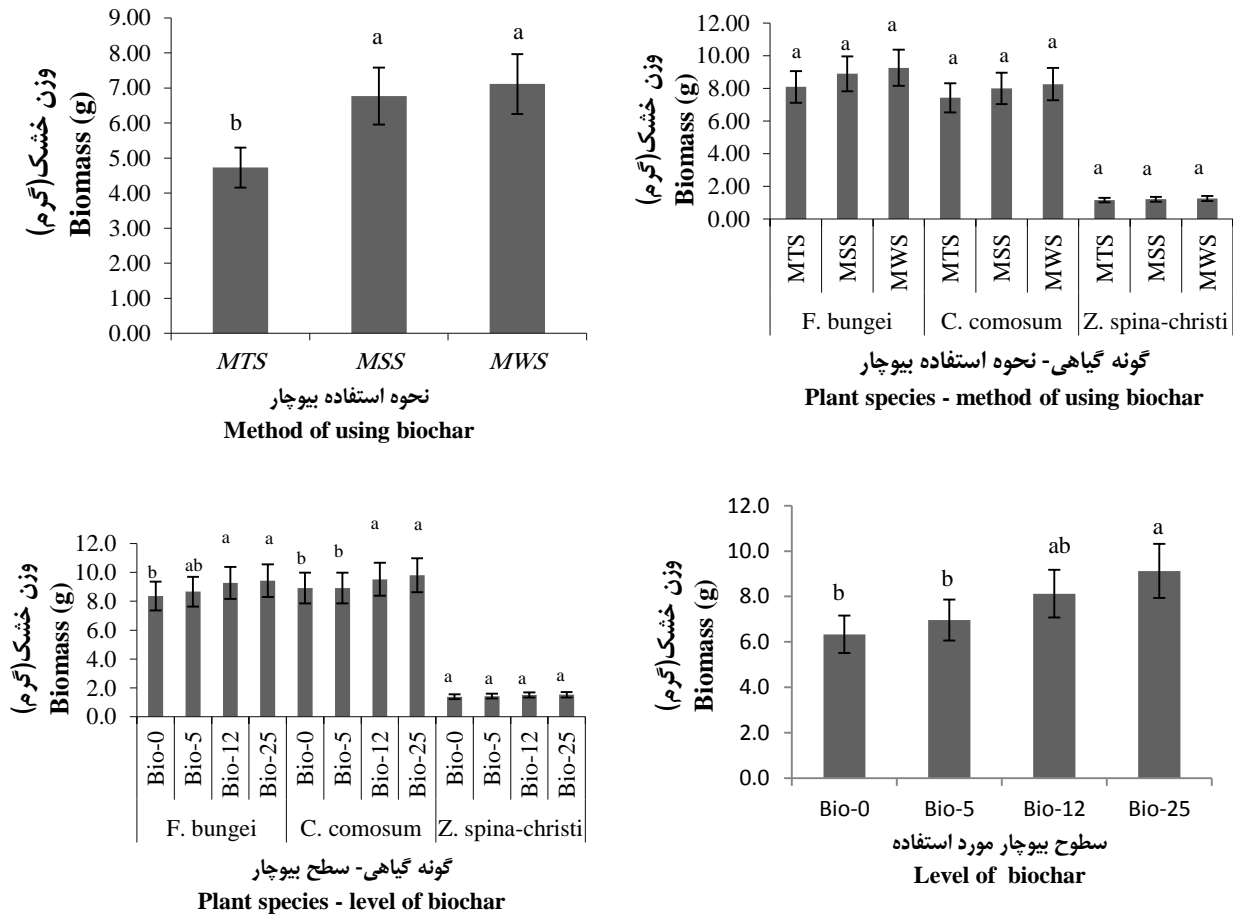


شکل ۲- ارتفاع گیاه در گونه‌های مختلف، تحت تأثیر سطوح مختلف و نحوه استفاده بیوچار ۴ ماه پس از کشت در گلدان؛ Bio-0، Bio-5، Bio-12 و Bio-25 به ترتیب سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار مورد استفاده می‌باشد؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 2- Plant height in different species, under different levels of biochar and application method 4 months after cultivation in pots; Bio-0, Bio-5, Bio-12 and Bio-25 are level of 0 (control), 5, 12 and 25% of biochar application, respectively; Unsimilar letters show significant differences at 5% level of probability by Duncan's test.

داشت به طوری که تحت عامل مخلوط بیوچار با کل پروفیل خاک (MWS) و نیز مخلوط با خاک عمقی (MSS)، مقادیر بالاتری را نشان داد. همچنین سطوح مورد استفاده بیوچار نیز تأثیر مثبت بر زیست‌توده گیاهان کشت شده داشت به طوری که استفاده بیوچار با نسبت ۲۵ درصد بالاترین تولید را نشان داد (شکل ۳).

زیست‌توده تولیدی تحت تأثیر عوامل گونه گیاهی، نحوه استفاده بیوچار و اثر ترکیبی نحوه استفاده بیوچار*گونه گیاهی در سطح ۱ درصد خطا و نیز تحت تأثیر اثرات ترکیبی میزان بیوچار*گونه گیاهی در سطح ۵ درصد خطا تفاوت بود. گونه قلم بیش‌ترین وزن زیست‌توده را نشان داد. نحوه استفاده بیوچار نیز تأثیر معنی‌داری بر زیست‌توده گیاه



شکل ۳- زیست توده گونه‌های مختلف تحت تأثیر میزان و نحوه مصرف بیوچار و اثرات ترکیبی گونه-میزان مصرف بیوچار و گونه- نحوه مصرف بیوچار پس از ۴ ماه کشت؛ Bio-0، Bio-5، Bio-12، Bio-25 و Bio-0 به ترتیب سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار مورد استفاده می‌باشد؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 3- Biomass of different species under biochar levels and application method, and the combined effects of species- biochar levels and species- biochar application method after 4 months of cultivation; Bio-0, Bio-5, Bio-12 and Bio-25 are level of 0 (control), 5, 12 and 25% of biochar application, respectively; Unsimilar letters show significant differences at 5% level of probability by Duncan's test.

مورد ارزیابی خاک را تحت تأثیر میزان بیوچار، نحوه استفاده بیوچار و گونه گیاهی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج خصوصیات از قبیل نیتروژن، ماده آلی و هدایت الکتریکی به شکل معنی‌داری در سطح ۱ درصد خطا تحت تأثیر میزان بیوچار مورد استفاده تغییر نمودند (جدول ۳).

خصوصیات خاک تحت تیمارهای گونه، سطح بیوچار و نحوه کاربرد بیوچار کشت گونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق تحت تیمارهای بیوچار موجب تأثیر در برخی از خصوصیات خاک در گلدان‌ها شد. جدول ۲ مقایسه تغییرات خصوصیات

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات گونه و سطح بیوچار مورد استفاده بر خصوصیات خاک بعد از کشت گیاه در گلدان

Table 3- Variance analysis of the effects of species and biochar level on soil properties after growing plants in pots

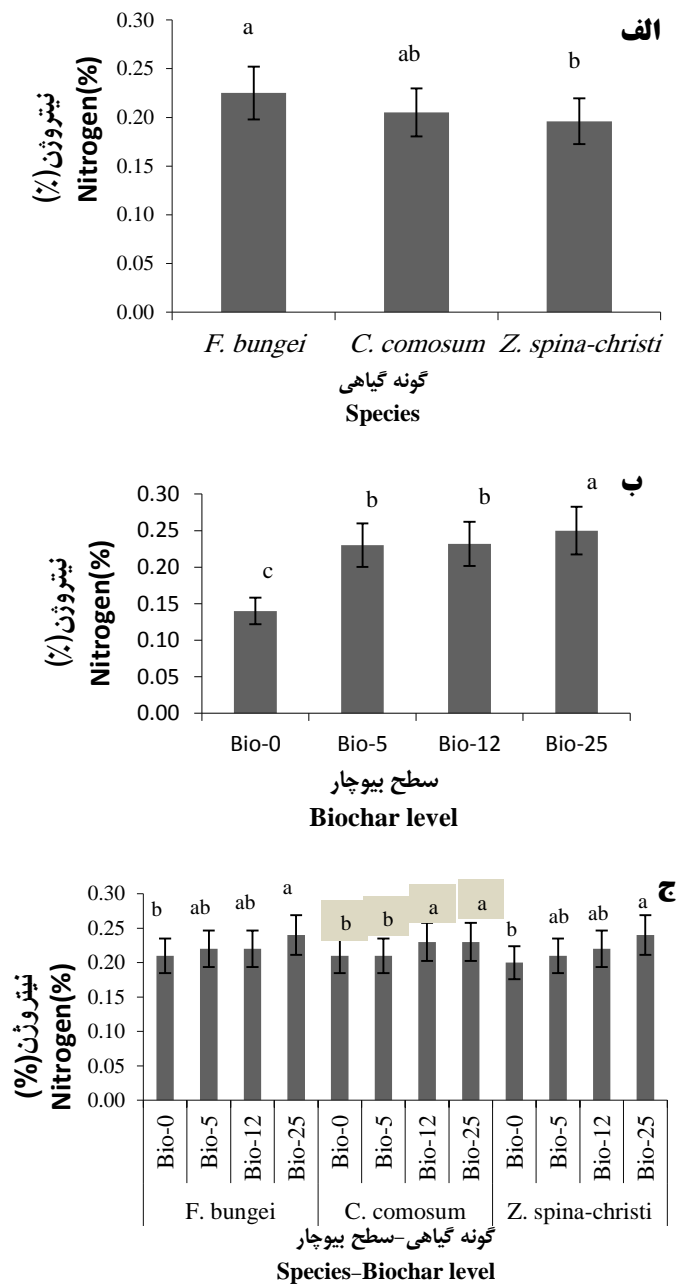
Factor	Species	Biochar level	Species* Biochar level
N	0.003*	0.022**	0.002 ^{ns}
OM	0.163 ^{ns}	21.067**	0.513 ^{ns}
P	19.01 ^{ns}	12.93 ^{ns}	69.25 ^{ns}
K	1300.0 ^{ns}	2322.22 ^{ns}	633.33 ^{ns}
EC	0.91**	0.538**	0.141*
pH	0.029**	0.019 ^{ns}	0.027 ^{ns}

** معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، *** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: عدم معنی‌داری.

*: Significant at 5% level of probability, **: Significant at 1% level of probability, ns: Not-significant difference.

بیوچار) به دست آمد. شکل ۴ نیتروژن خاک را تحت اثرات توأم نوع گونه گیاهی و میزان بیوچار مورد استفاده نشان می‌دهد که بر اساس نتایج در هر گونه مقدار نیتروژن با افزایش سطح بیوچار افزایش داشته است. به طور کلی سطح صفر (شاهد) تحت کشت تمام گونه‌ها از نظر نیتروژن فقیر و کمترین مقدار را نشان داد.

مقدار نیتروژن خاک تحت تأثیر نوع گونه گیاهی کشت شده و نیز سطوح مختلف بیوچار تغییراتی را نشان داد. مقدار نیتروژن خاک در گلدان‌های محتوای بوته قلم به شکل محسوسی بالاتر بود. همچنین تحت استفاده سطوح متفاوت بیوچار، مقادیر مختلف نیتروژن در خاک مشاهده شد و بالاترین مقدار تحت سطح چهارم بیوچار (۲۵ درصد

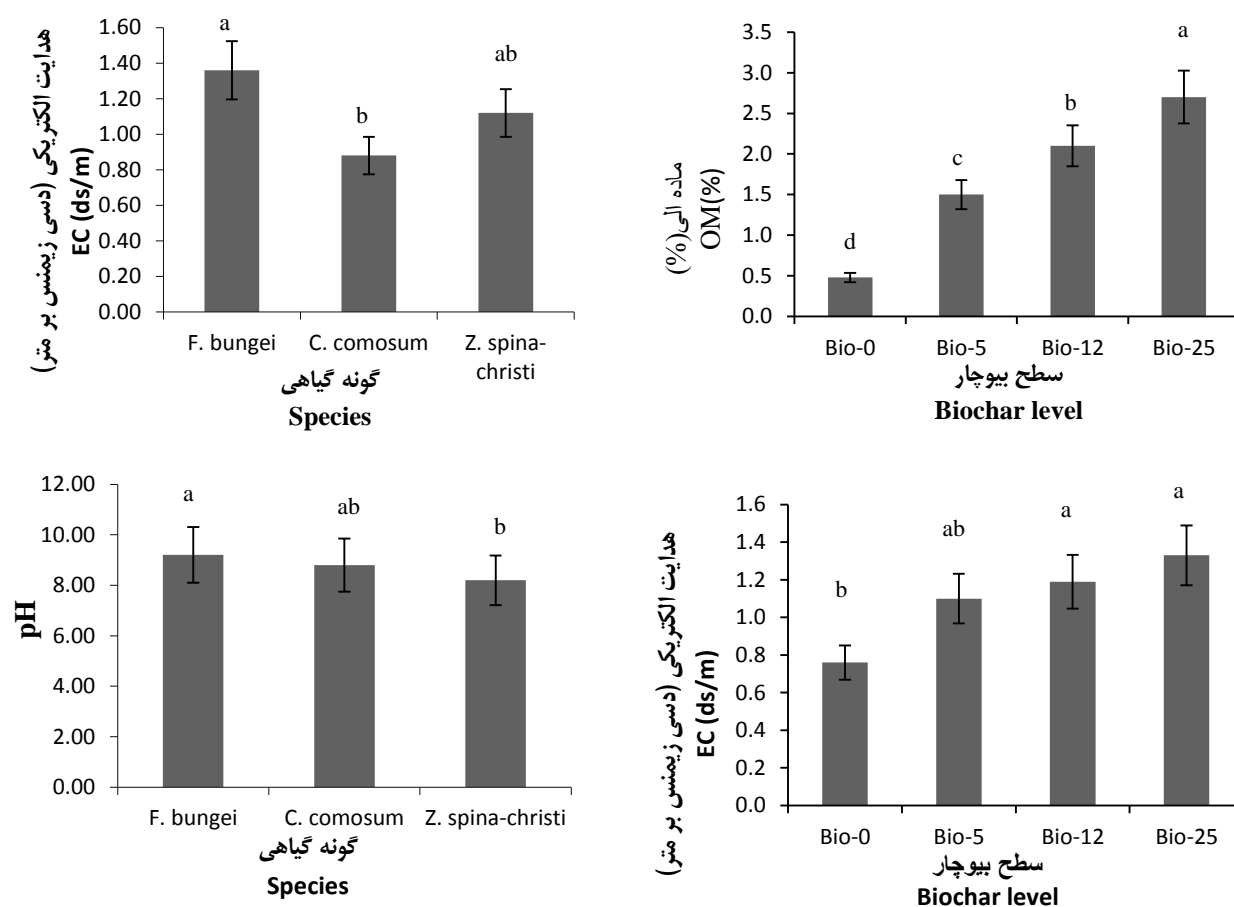


شکل ۴- مقادیر نیتروژن خاک تحت تأثیر گونه گیاهی و سطح بیوچار و اثرات ترکیبی گونه-سطح بیوچار؛ Bio-0، Bio-0، Bio-0 و Bio-0 به ترتیب سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار مورد استفاده می‌باشد؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 4- Soil nitrogen values under the influence of species and biochar level and the combined effects of species- biochar level; Bio-0, Bio-5, Bio-12 and Bio-25 are level of 0 (control), 5, 12 and 25% of biochar application, respectively; Unsimilar letters show significant differences at 5% level of probability by Duncan's test.

تحت تأثیر گونه گیاهی قرار گرفت بطوریکه بالاترین مقدار معادل ۹/۲ مربوط به گونه قلم و پایین‌ترین مقدار معادل ۸/۲ مربوط به گونه کنار بود. عامل شوری (هدایت الکتریکی) خاک تحت تأثیر گونه گیاه و نیز سطوح بیوچار قرار گرفت بطوریکه این مشخصه با افزایش سطح بیوچار، به شکل معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۵).

به طور کلی با افزایش مقدار بیوچار در خاک مقادیر ماده آلی خاک نیز افزایش داشته است. همچنین تغییرات معنی‌داری در رابطه با این عامل تحت کشت گونه‌های مختلف و نیز تحت سطوح مختلف بیوچار به‌کاربرده شده وجود داشت. از سویی مقادیر pH خاک تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار تغییر معنی‌داری نشان نداد، اما این مشخصه



شکل ۵- ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک تحت تأثیر گونه یا سطوح مختلف بیوچار پس از کشت؛ Bio-0، Bio-0، Bio-0 و Bio-0 به ترتیب سطوح ۰ (شاهد)، ۵، ۱۲ و ۲۵ درصد بیوچار مورد استفاده می‌باشد؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 5- The organic matter, electrical conductivity and soil pH under effect of species or different levels of biochar after cultivation; Bio-0, Bio-5, Bio-12 and Bio-25 are level of 0 (control), 5, 12 and 25% of biochar application, respectively; Unsimilar letters show significant differences at 5% level of probability by Duncan's test.

بحث

سطوح مختلف و نحوه استفاده بیوچار بر عملکرد فرم‌های رویشی بوته قلم، درختچه اسکنبیل و درخت کنار نتایج گوناگونی را ارائه داد. در گام نخست، سطوح مختلف بیوچار به شکل معنی‌دار موجب بهبود شرایط فیزیولوژیکی و تولید در گونه‌های مورد بررسی شد. در واقع برای یک گونه افزایش سطح بیوچار نسبت به تیمار شاهد (۰ درصد)، مستقیماً با افزایش ویژگی ارتفاع و یا زیست‌توده گیاه همراه بود. به طور مشابه، Kul و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که بیش‌ترین میزان افزایش در وزن خشک اندام هوایی (۷۴٫۸٪)، از استعمال سطوح بالاتر (تقریباً ۱۰ درصد) بیوچار در شرایط آزمایش به دست آمده است. در حالت کلی گونه قلم بیش‌ترین وزن زیست‌توده را نشان داد که تحت تأثیر تیمار سطح چهارم (۲۵ درصد) و در شرایط مخلوط بیوچار با کل پروفیل خاک به دست آمد. از سویی کاربرد سطح مختلف و نحوه استفاده بیوچار بر ویژگی‌های خاک نشان داد که بیش‌ترین تأثیر قابل محسوس متأثر از سطوح مختلف بیوچار بوده است. به عبارتی اگرچه نحوه استفاده بیوچار و یا گونه کشت شده نتایج مختلفی را نشان داد، اما میزان بیوچار مورد استفاده بیش‌ترین تأثیر را بر خصوصیات خاک داشته است. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، با افزایش مقدار بیوچار در خاک، خصوصیات خاک از قبیل هدایت الکتریکی، نیتروژن و ماده آلی افزایش محسوسی را نشان دادند. از سویی برخی ویژگی‌های مورد ارزیابی مانند فسفر، پتاسیم و pH خاک تحت تأثیر سطوح بیوچار مورد استفاده قرار نگرفتند. مشابه با این نتایج، (Wang *et al.* 2022) گزارش نمودند که استفاده بیوچار معدنی در یک خاک آلوده به فلزات سنگین هم موجب بهبودی خواص خاک شده است. Moradi و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر نوع و سطح بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک آهکی نشان دادند که به‌طور کلی با افزایش مقدار بیوچار، کربن آلی خاک، و نیز شکل‌های قابل‌استفاده پتاسیم، فسفر و منگنز به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. همچنین Khadem و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثرات بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نشان دادند که استفاده بیوچار

یکی از بهترین روش‌های مدیریت و اصلاح خاک محسوب شده و می‌تواند برای افزایش پایدار ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد بیوچار در وهله اول موجب بهبود شرایط بازی-اسیدی خاک و در نتیجه بیولوژی خاک و خصوصیات تغذیه‌ای آن را بهبود می‌بخشد (Hossain *et al.*, 2020). همچنین کاربرد بیوچار با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک، بهبودی شرایط فیزیکی خاک مانند وزن مخصوص ظاهری و نیز رطوبت قابل‌دسترس که به شدت بر بیولوژی خاک و بهبود عملکرد گیاهان تأثیر دارد را، موجب می‌گردد. در این راستا نتایج مطالعه Masto و همکاران (۲۰۱۳) افزایش pH خاک (۹٪)، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک (۵۰٪)، میزان مواد آلی خاک (۱۷٪)، نیتروژن کل (۱۰٪)، فسفر (۶۵٪)، پتاسیم (۱۱۸٪) را بر اثر کاربرد بیوچار نشان داد. افزایش میزان عناصر ذکرشده به افزایش pH خاک و اثر آهکی بیوچار در افزایش قابلیت جذب فسفر و افزودن شدن مستقیم پتاسیم توسط بیوچار (که در خاکستر بیوچار موجود است) نسبت داده شده است. چنین تغییراتی با بهبود شرایط رشد و افزایش زیست‌توده گیاه چاودار تحت تأثیر افزودن ۵۰ گرم بیوچار بر یک کیلوگرم خاک گلدان‌ها نیز گزارش شده است (Chirakkara & Reddy, 2015). لذا به نظر می‌رسد ویژگی‌های شیمیایی بیوچار (مانند ماده آلی، فسفر و پتاسیم، ...) مستقیماً بر تغییرات خصوصیات خاک مؤثر است. از سویی عدم آبهویی املاح و مواد مغذی خاک با استفاده از کاربرد بیوچار از عوامل مهم در بهبود وضعیت خاک و شرایط کشت برای گیاهان است که رشد بهتر را در پی داشته‌اند، در صورتی که تمام عناصر غذایی به مقدار کافی در خاک موجود بوده و خاک حاصلخیز باشد تفاوت کمی بین تیمارهای حاوی بیوچار و نمونه شاهد مشاهده شده است و تفاوت‌ها در خاک‌های تخریب‌شده و کم حاصلخیز بیشتر قابل‌مشاهده بوده درحالی‌که در خاک‌های ضعیف ۱۶٪ تا ۳۵٪ افزایش در عملکرد دیده شد است (Chaudhry *et al.*, 2016). به نظر می‌رسد تغییرات خصوصیات خاک به ماده اولیه بیوچار مرتبط می‌شود که بسته به غنای آن می‌تواند تغییرات نسبی در برخی ویژگی‌های خاک داشته باشد (Chrysargyris

- <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130378>
- Alihour, M., 2017. Feasibility measurement of salt water consumption by determining the water salinity production function in *Ziziphus Spina-Christi* species. *Engineering and Irrigation Sciences (Scientific Journal of Agriculture)* 41(3): 159-170 (In Persian).
<https://doi.org/10.22055/jise.2017.20945.1501>
 - Azarnivand, H., Qurbani, M. and Junidi Jafari, H., 2016. Investigating the effect of sodium chloride on the germination of two pasture species *Artemisia scoparia*, *Artemisia vulgaris*. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(3): 352-358 (In Persian with English summary).
https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105644_8e878a3edc305043549856ffe1a82333.pdf
 - Biederman, L.A., and Harpole, W.S., 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2): 202-214. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>
 - Chaudhry, U.K., Shahzad, S., Naqqash, M.N., Saboor, A., Yaqoob, S., Abbas, M.S. and Saeed, F., 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 9(1): 348-358. <http://dx.doi.org/10.7287/peerj.preprints.1631v1>
 - Chirakkara, R.A. and Reddy, K.R., 2015. Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 19(4): 04015004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000282](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000282)
 - Chrysargyris, A., Prasad, M., Kavanagh, A. and Tzortzakis, N., 2020. Biochar type, ratio, and nutrient levels in growing media affects seedling production and plant performance. *Agronomy*, 10(9): 1421. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091421>
 - Danaie, A.R., Razmjouee, D., Yousefi, S.H. and Zolfaghari, S., 2017. Determination of the potential habitat of *Calligonum Comosum* in rangelands using geographic information systems and hierarchical analysis (Case study: Hood area in Khuzestan province, Ahwaz city). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 24(2): 455-463 (In Persian with English summary).
<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.111908>
 - Hossain, M.Z., Bahar, M.M., Sarkar, B., Donne, S.W., Ok, Y.S., Palansooriya, K.N. and Bolan, N., 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2(4): 379-420. <http://dx.doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>

(et al., 2020) که کاربرد آن یک روش دوستدار محیط‌زیست برای کشاورزی پایدار می‌باشد (Semida et al., 2019). بنابراین با توجه به اینکه در این مطالعه از یک خاک با بافت سبک و از نظر مواد غذایی ضعیف استفاده شد، برخی خصوصیات خاک مانند ماده آلی افزایش قابل توجهی را نشان داد. به عبارتی از مهم‌ترین اثرات بیوچار مخصوصاً در خاک‌های فقیر، افزودن ماده‌آلی خاک می‌باشد. افزایش مقدار ماده‌آلی خاک موجب بهبود ساختار خاک و در نهایت موجب افزایش توانایی خاک در حفظ و نگهداشت رطوبت و مواد غذایی می‌باشد، که شرایط بهتری برای رویش گیاه را موجب می‌شود (Yazdanshenas et al., 2019). به طور کلی با افزایش سطح بیوچار، بهبود شرایط خاک و خصوصیات عملکردی گیاهان کشت شده در خاک مشاهده شد. از سویی عملکرد گیاهان بسته به فرم رویشی گیاه تحت تیمارهای مختلف متفاوت بود. روش کاربرد بیوچار نیز به شکل محسوسی عملکرد گیاهان کشت شده را دست‌خوش تغییر نمود به طوری که با در نظر گرفتن بحث اقتصادی استفاده از بیوچار، مخلوط آن با کل پروفیل خاک نسبت به روش مخلوط بیوچار با خاک سطحی یا عمقی، تولید بالاتر را به همراه داشت. لذا مصرف این ماده در خاک‌های ایران که کمبود ماده آلی در آن‌ها شایع است، برای پایداری و حفظ سطح ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، می‌تواند به عنوان یکی از بهترین و آسان‌ترین روش‌های سازگار با محیط‌زیست، مد نظر قرار گیرد (Khadem et al., 2017; Hossain et al., 2020).

منابع مورد استفاده

- Aalipour, B., Moazi, A.A., Nowrozi, M. and Khadim Al-Rasul, A., 2015. The effect of biomass type and pyrolysis temperature on some chemical and physical properties of biochar. *Iran Water and Soil Research*, 49(3): 537-547 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.30495/JEST.2022.64466.5571>
- Ahmad, Z., Mosa, A., Zhan, L., and Gao, B., 2021. Biochar modulates mineral nitrogen dynamics in soil and terrestrial ecosystems: A critical review. *Chemosphere, Elsevier*, 278, 130378.

- Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24>
- Sarli, R., Roshan, G. and Grab, S., 2019. Evaluation and prediction of vegetation changes of Mazandaran, Iran from 2005 to 2017 using Markov chain method and Geographical Information Systems (GIS). Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 28(111):149-162. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.37514>
 - Semida, W.M., Beheiry, H.R., Sétamou, M., Simpson, C.R., Abd El-Mageed, T.A., Rady, M.M. and Nelson, S.D., 2019. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. South African Journal of Botany, 127: 333-347. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.015>
 - Tavili, A., Bashari, H., Yazdanshenas, H., Jafari, M., Arzani, H. and Azarnivand, H., 2019. "Morphophysiological changes of wild *Stachys multicaulis* species under physical conditions during the cultivation process." Heliyon, 5(7); e02093. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02093>
 - Wang, Y.Y., You, L.C., Lyu, H.H., Liu, Y.X., He, L.L., Hu, Y.D., Luo, F.C. and Yang, S.M. 2022. Role of biochar--mineral composite amendment on the immobilization of heavy metals for Brassica chinensis from naturally contaminated soil. Environmental Technology & Innovation, Elsevier, 28, 102622. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102622>
 - Yang, F., Xu, Z., Huang, Y., Tsang, D.C.W., Ok, Y.S., Zhao, L., Qiu, H., Xu, X. and Cao, X., 2021. Stabilization of dissolvable biochar by soil minerals: Release reduction and organo-mineral complexes formation. Journal of hazardous materials, Elsevier, 412, 125213. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125213>
 - Yazdanshenas, H., Jafary, M., Tavili, A., Arzani, H. and Azarnivand, H., 2019. Effect of Drought and Salinity Stress on Morpho-physiological Variation of the Iranian Endemic *Stachys multicaulis* Benth. in Different Soil Textures. Journal of Rangeland Science, 9(3): 246-258. https://journals.iau.ir/article_545096.html
 - Zareabayneh, H., Bayat Varkeshi, M., Sabziparvar, A.A., Marofi, S. and Ghasemi, A., 2011. Evaluation of different reference evapotranspiration methods and their zonings in Iran. Physical Geography Research Quarterly, 42(4): 95-109 (In Persian with English summary). https://jphgr.ut.ac.ir/article_22205.html
 - Khadem, A.Y., Raisi, F. and Basharti, A., 2017. A review of the effects of biochar application on the physical, chemical and biological properties of soil. Land Management, 5(1): 13-30 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/lmj.2017.113291>
 - Kjeldahl, C., 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Z Anal Chem, 22, 366. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>
 - Kul, R., Arjumend, T., Ekinci, M., Yildirim, E., Turan, M. and Argin, S., 2021. Biochar as an organic soil conditioner for mitigating salinity stress in tomato. Soil Science and Plant Nutrition, 67(6): 693-706. <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1998924>
 - Li, H., Dong, X., da Silva, E.B., de Oliveira, L.M., Chen, Y. and Ma, L.Q., 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. Chemosphere, 178:466-478. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.072>
 - Major, J., Marco, R., Diego, M., Riha, S.J. and Lehmann, J., 2012. Nutrient leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. Journal of environmental quality, 41(4): 1076-1086. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0128>
 - Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. and Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. Catena 111:64-71. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.025>
 - Mohebi, A., Arabzadeh, Nasser, Jafari, A.A., Zandi Isfahan, E. and Eftekhari, A., 2017. Evaluation of the establishment percentage of the populations of the most important perennial fodder plants in different vegetation areas of Kerman province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 25(2):335 - 343 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2018.116845>
 - Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M.H. and Sepehr, E., 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. Water and Soil, 31(4): 1232-1246. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i4.61298>
 - Nikravesh, I., Boroomandnasab, S., Naseri, A. and Mohamadi, A.S., 2018. Investigating the effect of wheat straw Biochar and Hydrochar on physical properties of a Sandy Loam soil. Journal of Water and Soil, 32(2):387-397 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i2.70445>
 - Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 2