J. Soil and Plant Interactions, Vol. 15, No. 2, Summer 2024, pp. 19-32. Research Article

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.21241

Effect of Wheat Straw Biochar on Growth and Biochemical Characteristics of Kapi Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruit

M. M. Yazdi[1] and E. Danaee*

(Received: 24 December 2023; Accepted: 11 March 2024)

Abstract

Nowadays, the use of agricultural wastes is very important for improving the production of agricultural products. Applying biochar, as a soil conditioner, reduces the chemical fertilizer requirements, preserves soil water storage and improves the growth and quality of horticultural products. To investigate the effect of biochar in the planting bed of Kapi pepper (*Capsicum annuum* L.), an experiment was carried out as a completely randomized design with three replications in 2022 in a commercial greenhouse located in Garmsar City. The treatments included wheat straw biochar with the application rates of zero, 10, 20, 40 and 60 g kg^{-1} soil. The assessed traits included fresh and dry weights of fruit, fruit length and number of fruits per plant, cell membrane stability index, soluble solids, titratable acidity, pH, vitamin C, anthocyanin and total chlorophyll content. Moreover, the activity of peroxidase, catalase and superoxide dismutase enzymes. The results showed that the treatments had a significant effect on the studied traits, so that the highest fresh and dry fruit weights, cell membrane stability index, fruit length, and number of fruits per plant were obtained in the biochar treatment of 40 g kg^{-1} soil. Moreover, the highest values of titratable acidity, vitamin C, anthocyanin and peroxidase enzymes activity were observed in this treatment. Besides, the highest values of dissolved solids, pH and total chlorophyll content were recorded in the biochar treatment of 60 g kg^{-1} soil, while having the lowest values in all attributes of the control. According to the results, applying biochar at the rate of 40 g kg^{-1} soil could improve the morphological and biochemical characteristics of Kapi pepper.

Keywords: Anthocyanin, Biochemical traits, Enzyme activity, Soluble solids, Vitamin C.

Background and Objectives: Kapi pepper (*Capsicum annuum* L.) is a good source of antioxidant compounds and is rich in vitamin C, carotenoids, phenolic compounds and potassium (Olatunji and Afolayan, 2018). Today, the use of biochar as a soil conditioner has attracted the attention of researchers. Biochar is enriched with carbon that adsorbs nutrients and provides them to the plant when needed. As a result, the need for fertilizer and the cost of fertilization are reduced. The biochars provide moisture for the plant, improving fruit growth and quality (Bakhshipour et al., 2022). Therefore, this research was conducted to investigate the effect of wheat straw biochar on the growth, physiological and biochemical characteristics of Kapi pepper.

Methods: This experiment was conducted as a completely randomized design with three replications in 2022

1- Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.
* Corresponding author, Email: e.danaee@iau-garmsar.ac.ir

in a commercial greenhouse located in Garmsar City. The treatments included wheat straw biochar with the application rates of zero, 10, 20, 40, and 60 g kg^{-1} soil. First, the seeds of the Kapi pepper were planted in a planting tray containing peat moss bed. After one month of transplanting, they were transferred to pots containing different treatment ratios. Sampling was done three months after transplanting to evaluate the traits of fresh and dry weights of fruit, fruit length and number of fruits per plant, cell membrane stability index, soluble solids, titratable acidity, pH, vitamin C, anthocyanin and total chlorophyll content. Moreover, the activity of peroxidase, catalase and superoxide dismutase enzymes was assessed.

Results: According to the results, the treatments had a significant effect on the studied traits. The highest fresh and dry weights of the fruit (i.e., 57.43 and 12.56 g), cell membrane stability index (85.39%), fruit length (12.56 cm), number of fruits per plant (29.50), titratable acidity (1.13%), vitamin C (102.61 mg 100 g^{-1} FW) and anthocyanin (9.94 mg g^{-1} FW) were recorded in the biochar treatment of 40 g kg^{-1} soil. Furthermore, the activity of peroxidase, catalase and superoxide dismutase enzymes (4.25, 5.98 and 4.25 U enzyme g^{-1} FW) increased in this treatment. The highest soluble solids (4.95 degrees Brix), pH (4.98) and total chlorophyll content (4.43 mg g^{-1} FW) were obtained in the biochar treatment of 60 g kg^{-1} soil, while control was the lowest in all of the studied traits.

Conclusions: The application of wheat straw biochar had a positive effect on the growth and biochemical characteristics of Kapi pepper. Therefore, the use of biochar especially at the rate of 40 g kg^{-1} soil could improve the growth and physicochemical characteristics of Kapi pepper (*Capsicum annuum* L.).

References:

1. Bakhshipour, F., Mumivand, H., Sedaghati, E., Ehteshamnia, A., 2022. Effects of biochar and arbuscular mycorrhiza on biomass and some nutrients of two parsley varieties. Iranian J. Hortic. Sci. 52(4), 1027–1041. https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.300237.1790. (In Persian with English abstract)
2. Olatunji, TL., Afolayan, AJ., 2018. The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. Food Sci. Nutr. 6, 2239–2251. https://doi.org/10.1002/fsn3.790.

روابط خاک و گیاه/ سال پانزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳ / صفحات ۳۲-۱۹
https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.21241 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir
مقاله پژوهشی

اثر بیوچار کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

محمد مهدی یزدی[1] و الهام دانائی*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱)

چکیده

امروزه استفاده از مانده‌های کشاورزی برای بهبود تولید محصولات کشاورزی اهمیت زیادی دارد. کاربرد بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش داده، و موجب حفظ رطوبت خاک و بهبود رشد و کیفیت محصولات باغبانی می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار در بستر کاشت فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) آزمایشی به‌صورت طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر گرمسار اجرا شد. تیمارها شامل بیوچار کاه و کلش گندم با مقادیر کاربردی صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک بود و صفات مورد بررسی شامل وزن تازه و خشک میوه، شاخص پایداری غشاء سلول، طول میوه، تعداد میوه در بوته، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، pH، ویتامین ث، آنتوسیانین، کلروفیل کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز بود. نتایج نشان داد تیمارها تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی داشتند، به‌طوری‌که در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک بیش‌ترین وزن تازه و خشک میوه، شاخص پایداری غشاء سلولی، طول میوه، و تعداد میوه در بوته به‌دست آمد. هم‌چنین در این تیمار بیش‌ترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث، آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز مشاهده شد. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول، pH و محتوای کلروفیل کل در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد، درحالی‌که تمامی صفات مورد بررسی در شاهد کم‌ترین مقدار را داشتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مصرف بیوچار به‌ویژه به میزان ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، صفات بیوشیمیایی، فعالیت آنزیم، مواد جامد محلول، ویتامین ث.

مقدمه

فلفل (*Capsicum annuum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده بادمجانیان (Solanaceae) است که به دلیل طعم، رنگ و ارزش غذایی در باغبانی دارای اهمیت زیادی است. یکی از گونه‌های آن فلفل کاپی است که شباهت زیادی به فلفل دلمه‌ای دارد اما طعم آن شیرین‌تر است. فلفل کاپی رسیده، به‌ویژه انواع قرمز آن، دارای بهترین طعم و کالری کمی بوده و منبع خوبی از فیبر غذایی و مواد معدنی مانند منگنز، پتاسیم، منیزیم، آهن و

۱- گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: e.danaee@iau-garmsar.ac.ir

فسفر، ویتامین K و ویتامین‌های گروه B است. هم‌چنین این گیاه دارای بیش‌ترین محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین A به شکل کاروتنوئیدهای رنگی است که در تأمین مواد مغذی روزانه انسان نقش مؤثری دارد و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان دارای ویژگی‌های ضدویروس، میکروب و سرطان است (Olatunji and Afolayan, 2018).

افزایش روزافزون مانده‌ها در زمینه‌های مختلف کشاورزی و صنعتی و دفع و تخلیه نامناسب این مانده‌ها در محیط باعث ایجاد آثار نامطلوبی برای محیط زیست می‌شود، درحالی‌که استفاده مناسب و کاربردی از آن‌ها می‌تواند آثار مثبتی بر محیط زیست داشته باشد (Khadem et al., 2017). استفاده از مواد آلی مانند بیوچار یکی از روش‌های مناسب برای کاهش آلودگی محیط زیست و بهبود خاک است. بیوچار یک ترکیب آلی سیاه غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود از گرماکافت مانده‌های آلی گیاهی و حیوانی تولید می‌شود (Beiranvandi et al., 2020). این مانده‌ها از بقایای محصولات کشاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر تهیه می‌شود (Koushki et al., 2021). بیوچار به دلیل ساختار متخلخل سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شده و گنجایش نگهداری آب و مواد غذایی، تبادل کاتیونی، جذب فلزات سنگین و فعالیت ریزجانداران مانند قارچ مایکوریزا را افزایش می‌دهد (Bakhshipour et al., 2022). همچنین کاربرد بیوچار در بستر کاشت موجب می‌شود تا با جذب مواد مغذی، این ترکیبات را در زمان مورد نیاز در اختیار گیاهان قرار دهد. در نتیجه عناصر در مدت بیش‌تری در خاک باقی مانده و نیاز به مصرف کود و هزینه کوددهی را کاهش می‌دهد (Yaghoby et al., 2014). از سویی دیگر بیوچار با افزایش میزان ترسیب کربن در خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای، تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد (Bakhshipour et al., 2022). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار وزن تازه و خشک شاخساره، تعداد و وزن میوه، عملکرد کل و کارایی مصرف آب را در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) افزایش داد (Ebrahimi et al., 2021). در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) نیز کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار به‌طور معنی‌داری شاخص سبزینگی، وزن خشک ریشه و شاخساره را در شرایط تنش خشکی افزایش داد، درحالی‌که نشت یونی و فنل کل را کاهش داد (Ghias et al., 2022). به علاوه کاربرد بیوچار سبب افزایش میزان قند، پروتئین محلول و مواد جامد محلول در میوه اژدها (*Hylocereus polyrhizus*) شد (Chen et al., 2022). در پژوهشی دیگر مشاهده شد کاربرد بیوچار به میزان ۱۰ درصد وزن کل محیط کشت گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) موجب افزایش وزن خشک ساقه و قطر ساقه گردید (Ardakani and Sharifi, 2017). در گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L. cv Syaho) نیز کاربرد بیوچار به میزان ۵ گرم در کیلوگرم خاک، سطح برگ، ارتفاع، وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه را افزایش داد (Valizadeh Ghale Beig et al., 2021).

کاه و کلش گندم به دلیل قابلیت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی زیاد، ماده اولیه مناسبی برای تولید بیوچار است. با توجه به ارزش غذایی فلفل کاپی و اهمیت بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و همچنین نقش آن در مدیریت مانده‌های کشاورزی، این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار تهیه شده از کاه و کلش گندم بر رشد و ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، آزمایشی به‌صورت طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر گرمسار انجام شد. میانگین دمای روز و شب در گلخانه در طول دوره رشد گیاه برابر ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس، با نور طبیعی و رطوبت نسبی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. در ابتدا بذور F_1 فلفل کاپی قرمز تهیه‌شده از شرکت زولا (کشور هلند) در سینی کاشت دارای بستر پیت ماس کشت شد و پس از یک ماه نشاءها به گلدان‌های (با ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر و قطر دهانه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physical and chemical characteristics of the studied soil

بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رسانایی الکتریکی عصاره اشباع Electrical conductivity of saturated extract, EC (dS/m)	پی‌هاش pH	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	کربن آلی Organic carbon (%)
لوم رسی شنی Sandy clay loam	20.6	25.4	54.0	1.2	7.3	0.05	110	14.3	0.60

جدول ۲. ویژگی‌های بیوچار تهیه شده از کاه و کلش گندم

Table 2. Characteristics of the biochar prepared from wheat straw

کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر Phosphorus (%)	پتاسیم Potassium (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	pH	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity, EC (dS/m)
64.2	0.18	0.25	0.62	7.5	8.1

۴۵ سانتی‌متر) دارای بیوچار کاه و کلش گندم با مقادیر کاربردی صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک، منتقل شد و در هر گلدان یک نشاء کشت شد.

برای تهیه بیوچار ابتدا کاه و کلش بسته‌بندی شده و سپس در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس و در شرایط بدون اکسیژن گرمادهی شد. این دما بدین دلیل استفاده شد که در دماهای کم‌تر از ۳۰۰ درجه سلسیوس همه کاه و کلش به بیوچار تبدیل نمی شود (Lua et al., 2004). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده و بیوچار در جداول (۱) و (۲) ذکر شده است. برای اندازه‌گیری pH و رسانایی الکتریکی بیوچار کاه و کلش گندم، از نسبت ۱ به ۱۰ بیوچار به آب مقطر استفاده شد. آبیاری نیز هر دو روز یک‌بار و بر اساس گنجایش مزرعه خاک به میزان ۷۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان انجام شد و پس از سه ماه از انتقال نشاء، نمونه‌برداری میوه برای اندازه‌گیری برخی صفات انجام شد.

ویژگی‌های رشدی و مورفولوژیک

وزن تازه میوه بلافاصله پس از نمونه‌برداری و وزن خشک میوه پس از قراردادن آن به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس توسط ترازوی دیجیتال با دقت صدم گرم اندازه‌گیری شد. طول میوه با استفاده از کولیس دیجیتال (مدل Mitutoyo ساخت ژاپن) برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و تعداد میوه در هر بوته نیز شمارش گردید (Javadimoghadam et al., 2015).

ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی میوه

شاخص پایداری غشاء سلولی: برای تعیین شاخص پایداری غشاء سلولی، با استفاده از ECمتر رسانایی الکتریکی عصاره میوه (EC_1) اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها در اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و مجدداً رسانایی الکتریکی آن‌ها (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد شاخص پایداری غشاء سلولی با رابطه (۱) محاسبه شد (Abdossi and Danaee, 2019):

$$\text{شاخص پایداری غشاء سلولی} = [1 - (EC_1/EC_2)] \times 100 \quad (۱)$$

غلظت مواد جامد محلول: غلظت مواد جامد محلول توسط دستگاه رفرکتومتر (RA-620/RA-600, KEM ژاپن) اندازه‌گیری شده و برحسب بریکس بیان شد (Seyedabadi et al., 2022).

اسیدیته قابل تیتراسیون: اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون با تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال، اندازه‌گیری شده و نتایج برحسب درصد اسید سیتریک گزارش شد (Noorbakhesh and Danaee, 2021).

pH: اندازه‌گیری pH عصاره میوه با استفاده از دستگاه pHمتر (مدل METROHM-632 سوئیس) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد (Ahmadiyan et al., 2023).

ویتامین ث: سنجش ویتامین ث به روش تیتراسیون و با استفاده از معرف ۲، ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل انجام شده و برحسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه بیان شد (Soroori et al., 2021).

آنتوسیانین: اندازه‌گیری آنتوسیانین میوه با استفاده از محلول استخراج متانول و کلریدریک اسید ۱ نرمال انجام شد. میزان جذب عصاره میوه با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول‌موج‌های ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر (به ترتیب A_{530} و A_{657}) خوانده شد و با استفاده از رابطه (۲) برحسب واحد میلی‌گرم در گرم وزن تازه میوه محاسبه شد (Alhverdizadeh and Danaee, 2023):

$$\text{آنتوسیانین میوه} = A_{530} - A_{657} \quad (۲)$$

کلروفیل کل: استخراج کلروفیل کل میوه با استفاده از استون انجام شد و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۶۶۳ نانومتر (A_{663}) برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b (A_{645}) اندازه‌گیری شده و درنهایت میزان کلروفیل کل (Total Chl) با رابطه (۳) برحسب میکروگرم بر گرم وزن تازه میوه محاسبه گردید (Danaee and Abdossi, 2016):

$$\text{Total Chl} = 20.2\ (A_{645}) + 8.02\ (A_{663}) \times V/(1000 \times W) \quad (۳)$$

که در این فرمول W وزن نمونه و V حجم نمونه است.

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز: برای سنجش آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز عصاره میوه از روش شرح داده‌شده توسط Khodabakhsh and Danaee (2022) و برای سنجش آنزیم کاتالاز از روش Flocco and Giulietti (2007) استفاده شد. اعداد جذب به‌ترتیب در طول‌موج‌های ۵۳۰، ۵۶۰ و ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد، و درنهایت فعالیت آنزیم‌ها برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تازه میوه محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۳) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۱۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن تازه و خشک میوه، طول و تعداد میوه: نتایج نشان داد کاربرد بیوچار در بستر کاشت فلفل کاپی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن تازه و خشک میوه و در سطح احتمال ۵ درصد بر طول میوه و تعداد میوه در بوته داشت (جدول ۳).

بیش‌ترین مقادیر وزن تازه و خشک میوه (به‌ترتیب ۵۷/۴۳ و ۱۲/۵۶ گرم) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد و کم‌ترین مقادیر آن‌ها (به‌ترتیب ۴۲/۶۲ و ۹/۷۵ گرم) مربوط به شاهد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین طول میوه (۱۲/۵۶ و ۱۰/۶۳ سانتی‌متر) به ترتیب در تیمار ۴۰ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک و شاهد به‌دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین تعداد میوه در بوته (۲۹/۵۰ عدد) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار آن (۲۴/۳۳) مربوط به شاهد بود (جدول ۴). کاربرد بیوچار موجب افزایش وزن تازه و خشک میوه، طول میوه و تعداد میوه در بوته شد که این افزایش تا سطح ۴۰ گرم در کیلوگرم بیوچار ادامه داشت و در سطح بالاتر موجب کاهش صفات مورد بررسی شد. کاربرد بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک، وزن تازه و خشک میوه، طول میوه و تعداد میوه در بوته را به‌ترتیب ۲۵/۸، ۲۲/۴، ۱۵/۴ و ۱۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. احتمالاً بیوچار با داشتن چگالی کم، و گنجایش تبادل کاتیونی و تخلخل زیاد، تأثیر مثبتی بر فراهمی آب و عناصر غذایی، فتوسنتز و بهبود رشد گیاه و ریشه دارد که موجب افزایش رشد، اندازه و تعداد میوه فلفل شده است. هم‌چنین کاهش شاخص‌های رشدی میوه در سطح بالای بیوچار (۶۰ گرم در کیلوگرم) نیز می‌تواند مربوط به شوری ناشی از

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر بیوچار بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Table 3. Analysis of variance of the effect of biochar on the morphological and biochemical traits of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی DF	وزن تازه میوه Fresh weight of fruit	وزن خشک میوه Dry weight of fruit	شاخص پایداری غشاء سلولی Cell membrane stability index	طول میوه Fruit lengh	تعداد میوه در بوته Number of fruit per palnt	مواد جامد محلول Soluble solids	اسیدیته قابل تیتراسیون Titratable acidity	پی‌هاش pH	ویتامین ث Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پراکسیداز Peroxidase
		میانگین مربعات Mean squares													
تیمار Treatment	4	216.139**	158.623**	163.218**	37.67**	51.218**	15.231**	4.527**	14.316*	317.042**	42.385**	13.157*	17.037**	`16.125**	29.18**
خطا Error	-	0.63	0.52	0.73	0.38	0.85	0.137	0.012	0.098	0.562	0.238	0.102	0.219	0.185	0.185
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	–	9.45	11.21	11.65	10.23	8.43	10.35	10.69	10.86	11.25	10.12	9.86	10.49	11.27	11.27

** و * به‌ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

* and ** indicate significant effects at 1 and 5% probability levels, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Table 4. Means comparison of the effect of different levels of biochar on the morphological and biochemical traits of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

تیمار Treatment	سطح کاربرد Application level (g kg^{-1})	وزن تازه میوه (گرم) Fresh weight of fruit (g)	وزن خشک میوه (گرم) Dry weight of fruit (g)	طول میوه (سانتی‌متر) Fruit length (cm)	تعداد میوه در بوته Number of fruit per plant	شاخص پایداری غشاء سلولی (درصد) Cell membrane stability index (%)	مواد جامد محلول (بریکس) Soluble solids (Brix)	اسیدیته قابل تیتر (درصد) Titratable acidity (%)	پی‌هاش pH
شاهد Control	0	42.62^{e}	9.75^{e}	10.63^{d}	24.33^{d}	65.32^{e}	3.86^{e}	0.84^{e}	4.19^{d}
بیوچار Biochar	10	45.39^{d}	10.54^{d}	11.45^{c}	25.50^{cd}	71.47^{d}	4.03^{d}	0.93^{d}	4.42^{c}
	20	50.17^{c}	11.47^{c}	12.08^{b}	26.67^{c}	77.91^{c}	4.32^{c}	0.99^{c}	4.51^{c}
	40	57.43^{a}	12.56^{a}	12.56^{a}	29.50^{a}	85.39^{a}	4.67b	1.13^{a}	4.76^{b}
	60	52.68^{b}	11.89^{b}	12.31^{b}	28.33^{b}	81.46^{b}	4.95^{a}	1.08^{b}	4.98^{a}

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

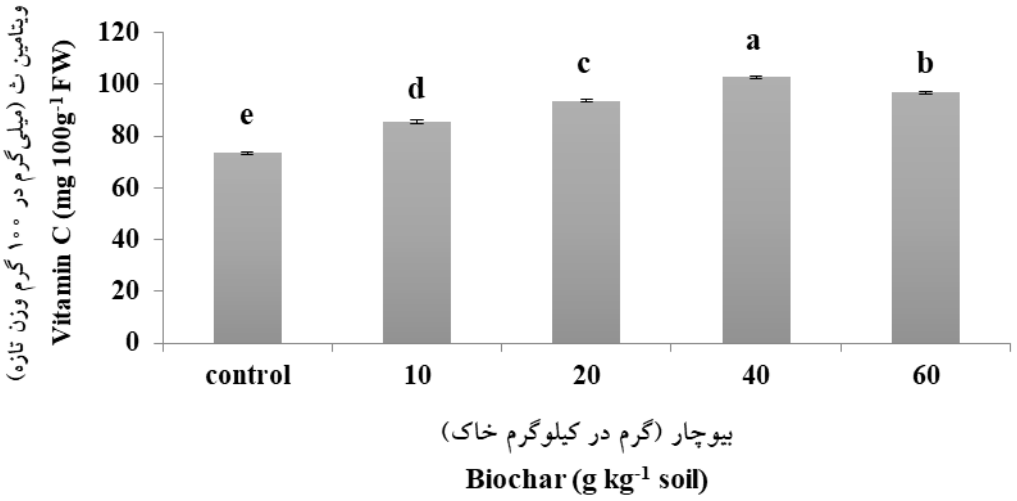
کاربرد زیاد بیوچار باشد (Pourmansour et al., 2019). Mir et al. (2021) نیز افزایش وزن، قطر و طول میوه و عملکرد گیاه کارلا (*Momordica charantia*) را با کاربرد بیوچار گندم گزارش کردند. همچنین در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) نیز کاربرد بیوچار وزن و تعداد میوه را افزایش داد (Ebrahimi et al., 2021).

شاخص پایداری غشاء سلولی: نتایج نشان داد کاربرد بیوچار شاخص پایداری غشاء سلولی را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) افزایش داد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار این شاخص (۸۵/۳۹ درصد) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار آن (۶۵/۳۲ درصد) در شاهد مشاهده شد (جدول ۴). این یافته می‌تواند به این دلیل باشد که بیوچار با آثار مثبتی که بر پایداری غشا پلاسمایی، بهبود محتوای نسبی آب و گنجایش نگهداری آب دارد موجب کاهش تنش اکسیداتیو، نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شود که درنتیجه شاخص پایداری غشا سلولی را افزایش می‌دهد (Hafez et al., 2020) در گیاه گل‌گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نیز مصرف بیوچار شاخص پایداری غشاء سلولی را افزایش داد (Taghizadehtabari et al., 2021). هم‌چنین Ghias et al. (2022) نیز افزایش شاخص پایداری غشاء سلولی را در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در اثر کاربرد بیوچار گزارش نمودند.

مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH: یافته‌ها نشان داد استفاده از بیوچار در بستر کاشت فلفل کاپی تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتر داشت درحالی‌که اثر آن بر pH میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). غلظت مواد جامد محلول در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک با ۴/۹۵ درجه بریکس بیش‌ترین و در شاهد با ۳/۸۶ درجه بریکس کم‌ترین میزان بود. هم‌چنین بیش‌ترین اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک (۱۳/۱ درصد) و کم‌ترین در شاهد (۰/۸۴ درصد) بود. بیش‌ترین میزان pH آب میوه (با مقدار ۴/۹۸) در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن (با مقدار ۴/۱۹) در شاهد مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به نتایج، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH با کاربرد بیوچار افزایش یافت که می‌تواند مربوط به آثار بیوچار بر جذب نیتروژن و فسفر باشد زیرا جذب بهتر مواد غذایی سبب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با رشد می‌گردد (Hosseinnejad mir et al., 2021). نتایج Simiele et al. (2020) نشان داد کاربرد بیوچار موجب افزایش مواد جامد محلول و اسیدیته در گوجه‌فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.) شد. هم‌چنین کاربرد بیوچار، مواد جامد محلول، اسیدیته و pH را در میوه مرکبات افزایش داد (Zhang et al., 2021).

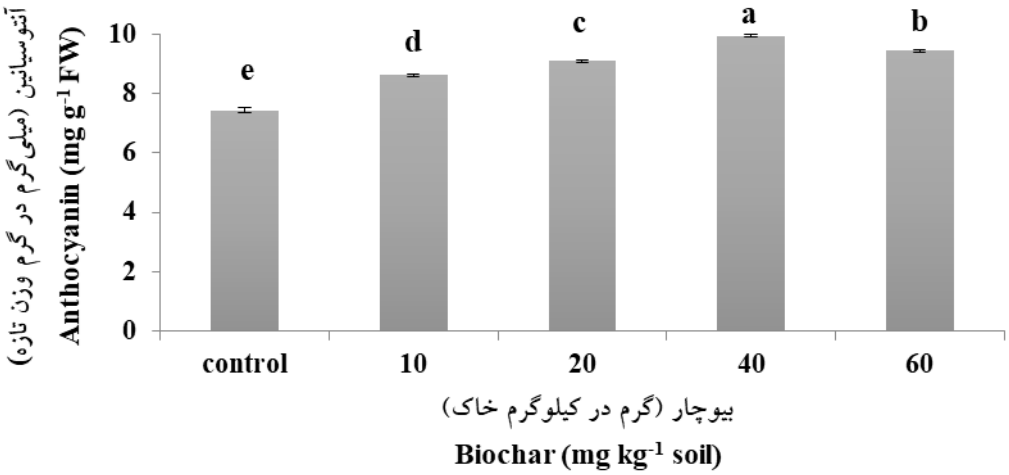
ویتامین ث: بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میزان ویتامین ث میوه نشان داد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان ویتامین ث میوه (۱۰۲/۶۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن (۷۳/۴۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه) در شاهد بود. کاربرد بیوچار میزان ویتامین ث را ۲۸/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱). این یافته را می‌توان به نقش بیوچار در بهبود فعالیت ریزجانداران مفید خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی نسبت داد. هم‌چنین افزایش عناصر کم‌مصرف به‌ویژه عنصر روی که در تولید اکسین نقش دارد موجب افزایش اسید آسکوربیک می‌شود (Askari Sarcheshmeh et al., 2019). احتمال می‌رود افزایش ویتامین ث مربوط به افزایش میزان قند کل در میوه باشد که موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به‌سمت میوه شده و درنهایت موجب افزایش آسکوربیک اسید در میوه می‌شود (Hasanzade et al., 2017). Nabaei et al. (2020) نیز اثر مثبت بیوچار بر ویتامین ث در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* Mill cv. Izmir) را گزارش نمودند.

آنتوسیانین: کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان آنتوسیانین میوه داشت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان آنتوسیانین (با ۹/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر میزان ویتامین ث فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)؛ ستون‌های با اعداد متفاوت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن دارند.

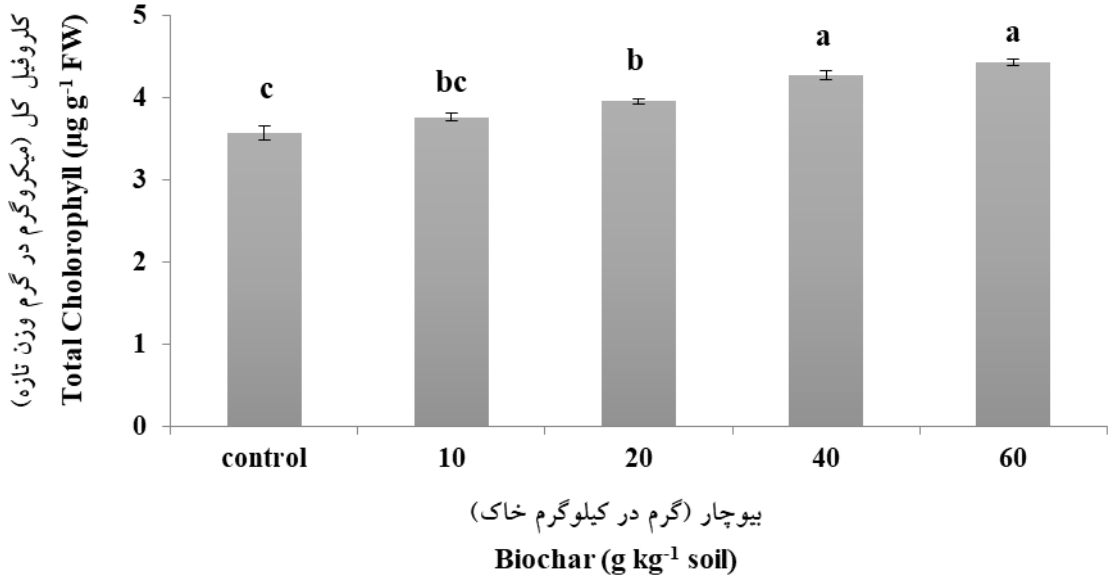
Fig. 1. Effect of different levels of biochar on vitamin C content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.); Columns with dissimilar letters are significantly different at 5% probability level (Duncan test).



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر میزان آنتوسیانین فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)؛ ستون‌های با اعداد متفاوت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن دارند.

Fig. 2. Effect of different levels of biochar on anthocyanin content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.) ; Columns with dissimilar letters are significantly different at 5% probability level (Duncan test).

بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین (با ۷/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در شاهد مشاهده شد (شکل ۲). کاربرد بیوچار میزان آنتوسیانین فلفل کاپی را افزایش داد که می‌تواند مربوط به نقش بیوچار در بهبود روابط آبی گیاه، افزایش محتوای نسبی آب و تهویه بهتر در محیط اطراف ریشه باشد (Rosli et al., 2023). در گیاه گل‌گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نیز مصرف بیوچار میزان آنتوسیانین را افزایش داد (Taghizadehtabari et al., 2021). هم‌چنین Younis et al. (2015) نیز افزایش میزان آنتوسیانین را در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) گزارش نمودند.



شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر محتوای کلروفیل کل فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)؛ ستون‌های با اعداد متفاوت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن دارند.

Fig. 3. Effect of different level of biochar on total chlorophyll content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.); Columns with dissimilar letters are significantly different at 5% probability level (Duncan test).

کلروفیل کل: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوای کلروفیل کل میوه داشت (جدول ۳). بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل (با ۴/۴۳ میکروگرم در گرم وزن تازه میوه) در تیمار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک نداشت. کم‌ترین محتوای کلروفیل کل نیز با ۳/۵۷ میکروگرم در گرم وزن تر میوه در شاهد به‌دست آمد (شکل ۳). کاربرد بیوچار محتوای کلروفیل کل را به میزان ۱۹/۴ درصد افزایش داد. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد بیوچار از راه جلوگیری از بازدارندگی نوری فتوسیستم II موجب افزایش فتوسنتز، تنفس نوری و تولید مواد هیدروکربنی می‌شود (Bakhshipour, 2020). هم‌چنین مصرف بیوچار تأثیر مثبتی بر جذب عناصری مانند منیزیم، نیتروژن و فسفر دارد. این عناصر نقش مهمی در تشکیل کلروفیل دارند؛ منیزیم جزء مهمی از رنگ‌دانه کلروفیل a است و نیتروژن نیز به‌عنوان ترکیبی ساختاری در رنگ‌دانه‌های گیاهی فعالیت می‌کند. درنتیجه افزایش جذب این عناصر توسط گیاه، محتوای رنگ‌دانه‌های گیاهی را افزایش می‌دهد (Ebrahimi et al., 2021). افزایش محتوای کلروفیل کل با کاربرد بیوچار در گیاهان بادمجان (*Solanum melongena* L.) و کاهو قرمز (*Lactuca sativa* L.) گزارش شده است (Ebrahimi et al., 2021; Rosli et al., 2023).

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز: بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز تاثیر گذاشت (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز (به‌ترتیب با ۴/۲۵، ۵/۹۸ و ۴/۰۵ واحد آنزیم در گرم وزن تازه) مربوط به تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک بود، درحالی‌که کم‌ترین فعالیت آنزیم‌ها

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر فعالیت آنزیم‌ها در فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Table 5. Means comparison of the effect of different levels of biochar on the activity of enzymes in Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

تیمار Treatment	سطح کاربرد Application level ($g\ kg^{-1}$)	پراکسیداز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه) Peroxidase (U enzyme g^{-1} FW)	کاتالاز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه) Catalase (U enzyme g^{-1} FW)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیم در گرم وزن تازه) Superoxide dismutase (U enzyme g^{-1} FW)
شاهد Control	0	3.24^{e}	4.65^{e}	3.10^{e}
بیوچار Biochar	10	3.52^{d}	5.13^{d}	3.32^{d}
	20	3.86^{c}	5.46^{c}	3.66^{c}
	40	4.25^{a}	5.98^{a}	4.05^{a}
	60	4.07^{b}	5.72^{b}	3.87^{b}

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

به‌ترتیب (با ۳/۲۴، ۴/۶۵ و ۳/۱۰ واحد آنزیم در گرم وزن تازه) مربوط به شاهد بود (جدول ۵). در گیاهان مختلف، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش حفاظتی داشته و باعث افزایش مقاومت در آن‌ها می‌شوند. استفاده از بیوچار موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. پژوهش‌ها نشان داده است که افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بازدارنده فعالیت‌های اکسیداسیون و احیا فتوسیستم II است. بنابراین کاربرد بیوچار سیستم دفاعی گیاه را با اثر بر زنجیره انتقال الکترون‌ها و تنظیم فعالیت آنزیم‌های محافظ مانند پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز بهبود می‌بخشد (Lyu et al., 2016). مشابه نتایج پژوهش حاضر، کاربرد بیوچار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهچه اسپرس را نیز افزایش داد (Asghari et al., 2023).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربرد بیوچار ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی فلفل کاپی را افزایش داد، به‌طوری‌که تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن تازه و خشک میوه، شاخص پایداری غشاء سلولی، طول میوه، و تعداد میوه در بوته شد. هم‌چنین این تیمار موجب افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز گردید. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول، pH و محتوای کلروفیل کل در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد. به‌طور کلی براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار (به‌ویژه به میزان ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک)، به دلیل نقش بیوچار در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و جذب آب و عناصر غذایی، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش رشد و بهبود کیفیت فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) نشان داد.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Abdossi, V., Danaee, E., 2019. Effects of some amino acids and organic acids on enzymatic activity and longevity of *Dianthus caryophyllus* cv. Tessino at pre-harvest stage. J. Orna. Plants. 9(2), 93–104.
2. Ahmadiyan, H., BeigMohammadi, Z., Soltani, M., 2023. Investigation of physicochemical and sensory properties of functional dairy drink dessert of cantaloupe containing *Moringa oleifera* and *Spirulina platensis*. J. Food Process. Preserv.15 (1), 1–22. https://doi.org/10.22069/fppj.2023.20899.1732. (In Persian with English abstract)
3. Alhverdizadeh, S., Danaee, E., 2023. Effect of humic acid and vermicompost on some vegetative indices and proline content of *Catharanthus roseous* under low water stress. Environ. Water Eng. 9(1), 141–152. https://doi.org/10.22034/EWE.2022.333951.1745.
4. Ardakani, M. R., Sharifi, M., 2017. Worm castings-based growing media with biochar and arbuscular mycorrhizal fungi for producing organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in greenhouse. Iranian J. Plant Physiol. 7(3), 2083–2093. https://doi.org/10.30495/ijpp.2017.533562.
5. Asghari M., 2023. Effect of Trichoderma and biochar application on some morpho-physiological traits of sainfoin seedlings grown in soils containing heavy metals. Plant Proc. Func. 12(54), 219–238. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1402.12.54.14.4. (In Persian with English abstract)
6. Askari Sarcheshmeh, M. A., Karbasi M., Talaei, A., Babalar, M., Aghajani, S., 2019. Effect of foliar application of iron and zinc on some quantitative and qualitative attributes of apple fruit Delbar estival. Iranian J. Hortic. Sci. 50(2), 265–274. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.231076.1225. (In Persian with English abstract)
7. Bakhshipour, F. 2020. The Effect of Application of Biochar and Mycorrhiza Biological Fertilizer on Growth and Morphological and Phytochemical Characteristics of Two Cultivars of Parsley (*Petroselinom crispum* Mill.) in Greenhouse. MSc Thesis, Lorestan University, Iran. (In Persian with English abstract)
8. Bakhshipour, F., Mumivand, H., Sedaghati, E., Ehteshamnia, A., 2022. Effects of biochar and arbuscular mycorrhiza on biomass and some nutrients of two parsley varieties. Iranian J. Hortic. Sci. 52(4), 1027–1041. https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.300237.1790. (In Persian with English abstract)
9. Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H., Nazarian, F., 2020. Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress. Iranian IJMAPR 36(5), 780–793. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342067.2732. (In Persian with English abstract)
10. Chen, L., Li, X., Peng, Y., Xiang, P., Zhou, Y., Yao, B., Zhou, Y., Sun, C., 2022. Co-application of biochar and organic fertilizer promotes the yield and quality of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) by improving soil properties. Chemosphere 294, 133619. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133619.
11. Danaee, E., Abdossi, V., 2016. Evaluation of the effect of plant growth substances on longevity of gerbera cut flowers cv. Sorbet. Iranian J. Plant. Physiol. 6(3), 1943–1947.
12. Ebrahimi, M., Souri, M. K., Mousavi, A. M., Sahebani, N., 2021. Study effect of vermicompost and biochar on growth, yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum melongena* L.) in field condition. Iranian J. Hortic. Sci. 52(1), 23–33. https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.312287.1861. (In Persian with English abstract)
13. Flocco, C. G., Giulietti, A. M., 2007. Methods in biotechnology. In: Wiley, N. (Ed.), Phytoremediation: Methods and Reviews. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc. 23, pp. 161–173.
14. Ghias, S., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Dehestani Ardakani, M., 2022. Effect of biochar and hydrogel on morphophysiological and biochemical characteristics of common Sage (*Salvia officinalis* L.) under drought stress. Plant Produc. 45(1), 67–80. https://doi.org/10.22055/ppd.2021.36030.1962. (In Persian with English abstract)
15. Hafez, Y., Attia, K., Alamery. S., Ghazy., A. L., Doss, A., Ibrahim, E., Rashwan, E., Elmaghrraby, L., Awad, A., Abdelaal, K. H., 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. J. Agron. 10, 1–18. https://doi.org/10.3390/agronomy10050630.
16. Hasanzade, Z., Ghahremani, Z., Barzegar, T., 2017. The effect of naphthalene acetic acid on growth, yield and fruit quality of okra cv. Kano Dwarf. J. Plant Produc. Res. 24(1), 33–45. https://doi.org/10.22069/jopp.2017.10324.1976. (In Persian with English abstract)
17. Hosseinnejad mir, A., Hashemi Garmdareh, S. E., Liaghat, A., Karimi, S., Abbasi, F., 2021. Effect of forage maize biochar and urea fertilizer on soil chemical properties and pepper yield under greenhouse conditions. Water Resour. Manage. 11(3), 593–606. https://doi.org/10.22059/jwim.2021.328440.908. (In Persian with English abstract)
18. Javadimoghadam, A. R., Ladan Moghadam, A. R., Danaee, E., 2015. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of nano-iron and zinc. Int. Res. J. Appl. Basic Sci. 9, 1477–1478.
19. Khadem, A., Raeisi, F., Besharati, H., 2017. A review of biochar effects on soil physical, chemical, and biological properties. J. Land Manage. 5(1), 13–30. https://doi.org/10.22092/lmj.2017.113291. (In Persian with English abstract)

20. Khodabakhsh, M., Danaee, E., 2022. The effect of foliar application of proline and glycine-betaine on growth indices, proline content and enzymatic activity of aromatic geranium (*Pelargonium graveolens*) under low water stress. J. Water Soil Resour. Conserv. 12(1), 125–136. https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.20474. (In Persian with English abstract)
21. Koushki, A., Alinejadian-Bidabadi, A., Maleki, A., 2021. Effects of rice husk biochar and different irrigation regimes on growth, essential oil percentage, and concentration of some nutrients in peppermint (*Mentha piperita* L.). IJMAPR 37(5), 733–752. https://doi.org/ 10.22092/ijmapr.2021.354663.2994. (In Persian with English abstract)
22. Lua, AC., Yang, T., Guo J., 2004. Effects of pyrolysis conditions on the properties of activated carbons prepared from pistachio-nut shells. J. Anal. Appl. Pyrol. 72(2), 279–287. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.08.001
23. Lyu, S., Du, G., Liu, Z., Zhao, L., Lyu, D., 2016. Effects of biochar on photosystem function and activities of protective enzymes in *Pyrus ussuriensis maxim*. under drought stress. Acta Physiol. Plant 38(9), 220. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163451.
24. Mir, E., Piri, H., Naserin, A., 2021. Effects of different levels of wheat biochar and water stress on quantitative and qualitative characteristics of Carla (Bitter Melon) in potted conditions. J. Water Res. Agric. 35(2), 169–185. https://doi.org/10.22092/jwra.2021.352930.845. (In Persian with English abstract)
25. Nabaei, S. M., Hassandokht, M. R., Abdossi, V., Ardakani, M., 2020. Effects of biochar application under organic and chemical nutrition on yield, some morpho-physiological and nutritional traits of tomato cv. Ismir (*Solanum lycopersicum* Mill cv. Izmir). Iranian J. Hortic. Sci. 51(1), 177–188. https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.286003.1686. (In Persian with English abstract)
26. Noorbakhesh, Sh., Danaee, E., 2021. Effect of chitosan and *Aloe vera* application on oxidative stability and nutritional value of strawberry fruit (*Fragaria ananassa*) cv. Camarosa. J. Hum. Environ. Health Promot. 7(4), 189–96. https://doi.org/10.52547/jhehp.7.4.189.
27. Olatunji, T. L., Afolayan, A. J., 2018. The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. Food Sci. Nutr. 6, 2239–2251. https://doi.org/10.1002/fsn3.790.
28. Pourmansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A. R., Moosavi, A. A., 2019. Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. Irrig. Water Manage. 9(1), 15–28. https://doi.org/10.22059/jwim.2019.278053.665. (In Persian with English abstract)
29. Rosli, N. S. M., Abdullah, R., Yaacob, J. S., Razali, R. B. R., 2023. Effect of biochar as a hydroponic substrate on growth, colour and nutritional content of red lettuce (*Lactuca sativa* L.). Bragantia 82, e20220177. https://doi.org/10.1590/1678–4499.20220177.
30. Seyedabadi, M. M., Kashaninejad, M., Jafari, S. M., Seyedabadi, E., Khojastehpour, M., 2022. Effect of continuous flow microwave processing system on quality attributes of orange Juice. J. Food Process. Preserv. 14(2), 89–104. https://doi.org/10.22069/fppj.2022.17452.1590. (In Persian with English abstract)
31. Simiele, M., Argentino, O., Baronti, S., Scippa, G., Chiatante, D., Terzaghi, M., Montagnoli, A., 2022. Biochar enhances plant growth, fruit yield, and antioxidant content of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a soilless substrate. Agriculture 12, 1135. https://doi.org/10.3390/agriculture12081135.
32. Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., Ladan Moghadam, A., 2021. Evaluation of nutritional value and shelf life of marigold with the application of spermidine, citric acid and proline. J. Food Technol. Nutr. 18, 89–102. (In Persian with English abstract)
33. Taghizadehtabari, Z., Asghari, H., Abbasdokht, H., Babakhanzadeh, E., 2021. Effects of biochar and salicylic acid on some characteristics of *Borago officinalis* L. in water deficit condition. J. Plant Prod. 28(1), 93–113. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.17250.2599. (In Persian with English abstract)
34. Valizadeh Ghale Beig, A., Nemati, S. H., Emami, H., Aroie, H., 2021. The effect of glayol biochar on some of morphological traits and heavy metals uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho). Iranian J. Hortic. Sci. 51(4), 773–784. https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.281235.1644. (In Persian with English abstract)
35. Yaghoby, M., Amerian, M., Asghar, H., 2014. Comparison of the effect of biological and biofertilized fertilizers on some physiological traits in bean growing. In: The 2nd National Conference of the Desert with the Approach of the Management of Arid and Desert Areas. Semnan University, Iran. (In Persian)
36. Younis, U., Athar, M., Malik, A., Raza Shah, M. H., Mahmood, S., 2015. Biochar impact on physiological and biochemical attributes of spinach (*Spinacia oleracea* L.) in nickel contaminated soil. Glob. J. Environ. Sci. Manag. 1(3), 245–254. https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.03.007.
37. Zhang, M., Zhang, L., Riaz, M., Xia, H., Jiang, C., 2021. Biochar amendment improved fruit quality and soil properties and microbial communities at different depths in citrus production. J. Clean. Prod. 292, 126062. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126062.