Evaluation of the Effect of Biochar on Improvement of Growth and Biochemical Characteristics of Kapi Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruit

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

نسخه پیش از انتشار

Abstract

Nowadays, the use of agricultural waste is very important for the production of agricultural products. Biochar application as a soil conditioner reduces chemical fertilizer requirements, preserves soil moisture and improves the growth and quality of horticultural products. To investigate the effect of biochar in the planting bed of capsicum (*Capsicum annuum* L.), an experiment was carried out as a completely randomized statistical design in 3 repetitions in 2022 in a commercial greenhouse located in Garmsar City. The treatments included wheat stubble biochar in proportions of zero, 10, 20, 40 and 60 g kg^{-1} soil. The results showed that the treatments had a significant effect on the assessed traits in the biochar treatment of 40 g kg^{-1} soil, so that the highest fresh and dry fruit weight, cell membrane stability index, fruit length, and number of fruits per plant were obtained. Also, in this treatment, the highest amount of titratable acidity, vitamin C, anthocyanin and peroxidase enzymes activity were obtained. Moreover, the highest amount of dissolved solids, pH and total chlorophyll content was obtained in the biochar treatment of 60 g kg^{-1} soil, while having the lowest amount in all evaluated attributes of the control. According to the obtained results, useing biochar at the rate of 40 g kg^{-1} soil improve the morphological and biochemical characteristics of *Capsicum annuum* L.

Keywords: Anthocyanin, Biochemical, Eenzyme activity, Soluble solids, Vitamin C.

Background and Objectives: Kapi pepper with the scientific name *Capsicum annuum* L. is a good source of antioxidant compounds and is rich in vitamin C, carotenoids, phenolic compounds and potassium (1). Today, the use of biochar as a soil conditioner has attracted the attention of researchers. Biochar is enriched with carbon that absorbs nutrients and provides them to the plant in times of need. As a result, the need for fertilizer and the cost of fertilization are reduced. These elements remain in the soil for a long time and also maintain and provide moisture for the plant, improving fruit growth and quality (2). Therefore, this research was conducted to investigate the effect of biochar on the growth, physiological and biochemical characteristics of Kapi pepper.

Methods: This experiment was conducted as a completely randomized statistical design in 3 replications in 2022 in a commercial greenhouse located in Garmsar City. The treatments included wheat stubble biochar in proportions of Zero, 10, 20, 40, and 60 g kg^{-1} soil. To do the experiment, first, the seeds of the Kapi pepper

1- Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran
* Corresponding author, Email: dr.edanaee@yahoo.com

were planted in a planting tray containing a 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 weight of fruit, fruit length and number of fruits per plant, cell membrane stability index, soluble solids, titrable 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 evaluated traits so that the highest fresh and dry weight of the fruit (12.56-57.43 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 obtained in the biochar treatment of 40 g kg^{-1} soil. Furthermore, the activity of peroxidase, catalase and superoxide dismutase enzymes (4.25- 5.98- 4.25 U enzyme g^{-1} FW) increased in this treatment. The highest amount of soluble solids (4.95 degrees Brix), pH (4.98) and total chlorophyll content (4.43 mg g^{-1} FW) was obtained in the biochar treatment of 60 g kg^{-1} soil, while control was the lowest in all evaluated traits.

Conclusion: According to the results, the application of 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 improve the growth and physicochemical characteristics of Kapi pepper (*capsicum annuum* L.).

References:

1. 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.
2. Bakhshipour, F., Mumivand, H., Sedaghati, E., Ehteshamnia, A., 2022. Effects of biochar and *arbuscular mycorrhizal* 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).

نسخه پیش از انتشار

ارزیابی اثر بیوچار بر بهبود ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

محمد مهدی یزدی[1] و الهام دانائی[*]

چکیده

امروزه استفاده از ضایعات کشاورزی در جهت تولید محصولات کشاورزی اهمیت بالایی دارد. کاربرد بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش داده، موجب حفظ رطوبت خاک و بهبود رشد و کیفیت محصولات باغبانی می‌گردد. به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار در بستر کاشت فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) آزمایشی به‌صورت طرح آماری کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تجاری واقع در شهر گرمسار اجرا شد. تیمارها شامل بیوچار کلش گندم به نسبت‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک بود. نتایج نشان داد، تیمارها تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشتند، به‌طوری‌که در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک بیش‌ترین وزن تر و خشک میوه، شاخص ثبات غشاء سلول، طول میوه، 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 سوپر اکسید دیسموتاز مشاهده شد. بیش ترین میزان مواد جامد محلول، pH و محتوای کلروفیل کل در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد، درحالی‌که در تمامی صفات مورد ارزیابی شاهد کم‌ترین بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مصرف بیوچار خصوصاً به میزان ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، 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 بالایی می‌باشد. 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 هستند و منبع خوبی از فیبر غذایی و مواد معدنی مانند منگنز، پتاسیم، منیزیم، آهن و فسفر، ویتامین K و ویتامین‌های گروه B است. هم‌چنین دارای بیش ترین محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین A به شکل کاروتنوئیدهای رنگی است که در تأمین مواد مغذی روزانه انسان نقش مؤثری دارد و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان دارای خواص

۱- گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: dr.edanaee@yahoo.com

نسخه پیش از انتشار

ضـــدویروس، میکروب و ســـرطان اســـت (Olatunji and Afolayan, 2018).

افزایش روزافزون ضایعات در زمینه‌های مختلف کشاورزی و صنعتی و دفع و تخلیـه نامناسب این ضایعات در محیط باعث ایجاد اثرات نامطلوبی برای محیط زیســـت می‌گردد، درحالی‌که استفاده مناسب و کاربردی از آن‌ها می‌تواند آثار مثبتی بر محیط زیست داشته باشد (Khadem et al., 2017). استفاده از مواد آلی نظیر بیوچار یکی از روش‌های مناسب در جهت کاهش آلودگی محیط زیست و بهبود خاک است. بیوچار یک ترکیب آلی سیاه غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود از گرماکافت ضایعات آلی گیاهی و حیوانی تولید می شود (Beiranvandi et al., 2020). این ضـــایعات می‌توانند از بقایای محصـــولات کشـاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سـبوس برنج و تفاله نیشـکر تهیه شـود (Koushki et al., 2021). بیوچار به دلیل سـاختار متخلخل سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می گردد و ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی، تبادل کاتیونی، جذب فلزات سنگین و تحریک فعالیت ریز جانداران خاک مانند قارچ مایکوریزا را افزایش می‌دهد (Bakhshipour et al., 2022). همچنین کاربرد بیوچار در بسـتر کاشـت موجب می‌شـود تا با جذب مواد مغذی، این ترکیبات را در زمان مورد نیاز در اختیار گیاهان قرار دهد. در نتیجه عناصر در مدت طولانی‌تری در خاک باقی می‌ماند و نیاز به مصـــرف کود و هزینه کوددهی را کاهش می‌دهد (Yaghoby et al., 2014). از ســـویی دیگر بیوچار با افزایش میزان ترســـیب کربن در خاک و کاهش گاز های گلخـانـه‌ای، تـأثیر مثبتی بر رشـــد و عملکرد گیـاه دارد (Bakhshipour et al., 2022). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد و وزن میوه، عملکرد کل و کارایی مصـــرف آب را در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) افزایش داد (Ebrahimi et al., 2021). هم‌چنین در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) نیز کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار به‌طور معنی‌داری شـــاخص سبزینگی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را در شرایط تنش خشکی افزایش داد، درحالی‌که زشت یونی و فنل کل را کاهش داد (Ghias et al., 2022). به علاوه کاربرد بیوچار، نیز میزان قنـد، پروتئین محلول و مواد جـامـد محلول در میوه اژدهـا (*Hylocereus polyrhizus*) را افزایش داد (Chen et al., 2022). در پژوهشـی دیگر کاربرد بیوچار به میزان ۱۰ درصـد وزن کل محیط کشـــت گوجـه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) موجب افزایش وزن خشـــک ســـاقه و قطر ســـاقه گردید (Ardakani and Sharifi, 2017). در گیـاه کـاهو (*Lactuca sativa* L. cv Syaho) نیز کاربرد بیوچار به میزان ۵ گرم در کیلوگرم خاک، سطح برگ، ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشـه را افزایش داد (Valizadeh ghale beig et al., 2021). کاه و کلش گندم به دلیل قابلیت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی بالا 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 ضایعات کشاورزی، این پژوهش با هدف بررسـی اثر بیوچار تهیه شـده از کلش گندم بر رشـد و خصوصیات بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر بیوچار بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی میوه فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.) آزمایشی به‌صـورت طرح آماری کاملاً تصـادفی با سـه تکرار در سـال ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر گرمسار انجام شد. میانگین دمای روز و شب در گلخانه در طول دوره رشدی گیاه ۲۵–۲۰ درجه سانتی‌گراد، نور طبیعی و رطوبت نسبی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. در ابتدا بذور F_1 فلفل کاپی قرمز تهیه شده از شرکت زولا، کشور هلند، در سینی کاشت حاوی بستر پیت ماس کشت شد و پس از یک ماه نشاءها به گلدان‌های (ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۴۵ ســـانتی‌متر) حاوی بیوچار کلش گندم به نســـبت‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک، منتقل شد و در داخل هر گلدان یک نشاء کشت شد. برای تهیه بیوچار ابتدا کاه

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physicochemical characteristics of research soil

بافت Soil Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	EC (dS/m)	pH	Nitrogen (%)	Potassium (ppm)	Phosphorus (ppm)	Organic Carbon (%)
Sandy clay loam	20.6	25.4	54	1.2	7.3	0.52	110	43.5	0.60

جدول ۲. خصوصیات بیوچار

Table 2. characteristics of Biochar

هدایت الکتریکی EC(dS/m)	pH	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)
8.1	7.5	0.62	0.25	0.18	64.20

و کلش بسته‌بندی شده و سپس در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط بدون اکسیژن حرارت داده شد. زیرا در دمای کم‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد همه کاه و کلش به بیوچار تبدیل نمی شود (Lua et al., 2004). ضمناً خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده و بیوچار در جداول (۱) و (۲) ذکر شده ا ست. آبیاری نیز هر دو روز یک‌بار به میزان ۷۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان انجام شد و پس از سه ماه از انتقال نشاء، نمونه‌برداری میوه جهت ارزیابی برخی صفات انجام شد.

ویژگی‌های مورفولوژیک مورد بررسی

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

خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی میوه

شاخص ثبات غشاء سلول: جهت تعیین شاخص ثبات غشاء سلول با استفاده از EC متر میزان EC_1 (هدایت الکتریکی) اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها در داخل اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد جهت محاسبه EC_2 قرار گرفتند و درصد شاخص ثبات غشاء سلول از رابطه (۱)، محاسبه شد (Cheheltanan et al., 2022).

(۱) $[1- (EC_1/EC_2)] \times 100$ = شاخص ثبات غشاء سلول

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

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

میزان pH: آزمون pH عصاره میوه با استفاده از دستگاه pH متر (مدل METROHM-632 سوئیس) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد (Ahmadiyan et al., 2023).

ویتامین ث: سنجش ویتامین ث به روش تیتراسیون و با استفاده از معرف ۲، ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل اندازه‌گیری و به‌صورت میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر 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

نسخه پیش از انتشار

جذب عصاره با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول‌موج های ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر، خوانده شد و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه و برحسب واحد میلی‌گرم در گرم وزن تر میوه، بیان شد (Meng and Wang, 2004).

آنتوسیانین میوه = A530nm - A657 nm (۲)

در این فرمول A طول‌موج می‌باشد.

کلروفیل کل: استخراج کلروفیل کل میوه با استفاده از استون انجام شد و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شدند و درنهایت میزان کلروفیل کل از طریق رابطه (۳) برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر میوه محاسبه گردید (Ghoroori et al., 2023).

$$\text{Total Chl} = 20.2\,(A645) + 8.02\,(A663) \times V/(1000 \times W) \quad (۳)$$

در این فرمول A طول‌موج، W وزن نمونه و V حجم نمونه می‌باشد.

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز: جهت سنجش آنزیم‌های پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز عصاره میوه از روش شرح داده‌شده توسط خدابخش و دانائی (۲۰۲۲) و آنزیم کاتالاز از روش فلوکو و گیولتی (۲۰۰۷) استفاده شد و اعداد جذب به‌ترتیب در طول‌موج‌های ۵۳۰، ۵۶۰ و ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد، سپس برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تر 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 چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت گرفت و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel (نسخه ۱۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

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

بیش‌ترین مقدار وزن تر و خشک میوه به‌ترتیب با ۵۷/۴۳ و ۱۲/۵۶ گرم در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد و کم‌ترین مقدار وزن تر و خشک میوه به‌ترتیب با ۴۲/۶۲ و ۹/۷۵ گرم مربوط به تیمار شاهد بود. بیش‌ترین طول میوه (۱۲/۵۶ سانتی‌متر) و کم‌ترین مقدار آن (۱۰/۶۳ سانتی‌متر) در تیمارهای 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 تر و خشک میوه، طول میوه و تعداد میوه در بوته گردید که این افزایش تا سطح ۴۰ گرم در کیلوگرم بیوچار بود و در سطح بالاتر موجب کاهش صفات مورد ارزیابی گردید. کاربرد بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۲۵/۷۸، ۲۲/۳۷، ۱۵/۳۷ و ۱۷/۵۳ درصد وزن تر و خشک میوه، طول میوه و تعداد میوه در بوته را نسبت به شاهد افزایش داد. احتمالاً بیوچار با داشتن جرم مخصوص کم، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و تخلخل بالا تأثیر مثبتی بر افزایش دسترسی آب و مواد غذایی، فتوسنتز و بهبود رشد گیاه و ریشه دارد که موجب افزایش رشد، اندازه و تعداد میوه فلفل گردیده است. هم‌چنین کاهش شاخص‌های رشدی میوه در سطح بالای بیوچار (۶۰ گرم در کیلوگرم) نیز می‌تواند مربوط به شوری ناشی از سطوح بالای بیوچار باشد (Pourmansour et al., 2019). اسماعیل میر و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش وزن، قطر و طول میوه و عملکرد گیاه کارلا (*Momordica Charantia*) را با کاربرد بیوچار گندم

نسخه پیش از انتشار

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

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

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Means of Square												
		وزن تر میوه Fresh weight of fruit	وزن خشک میوه Dry weight of fruit	شاخص ثبات غشاء cell membranes 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	پی هاش pH	ویتامین ث Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide Dismutase	پراکسیداز Peroxidase
تیمار Treatment	4	216.1** 39	158.62** 3	163.218**	37.6** 7	51.218**	15.231**	4.527**	14.31 6*	317.042* *	42.385**	13.157*	17.03 7**	`16.125**	29.18**
اشتباه آزمایشی 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 معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

** and * indicate significance at 1% and 5% level, respectively.

نسخه پیش از انتشار

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

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

تیمار Treatment	سطح Level ($g\ kg^{-1}$)	وزن تر میوه (گرم) Fresh weight of fruit (g)	وزن خشک میوه (گرم) Dry weight of fruit (g)	طول میوه (سانتی متر) Fruit length (cm)	تعداد میوه Number of fruit per plant	شاخص ثبات غشاء سلول (درصد) Cell membrane stability index (%)	مواد جامد محلول (بریکس) Soluble solids (brix)	اسیدیته قابل تیتر (درصد) Titratable acidity (%)	پی هاش 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}

حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq0.05$ است.

Means with common letters at level of 5% have no significant different

نسخه پیش از انتشار

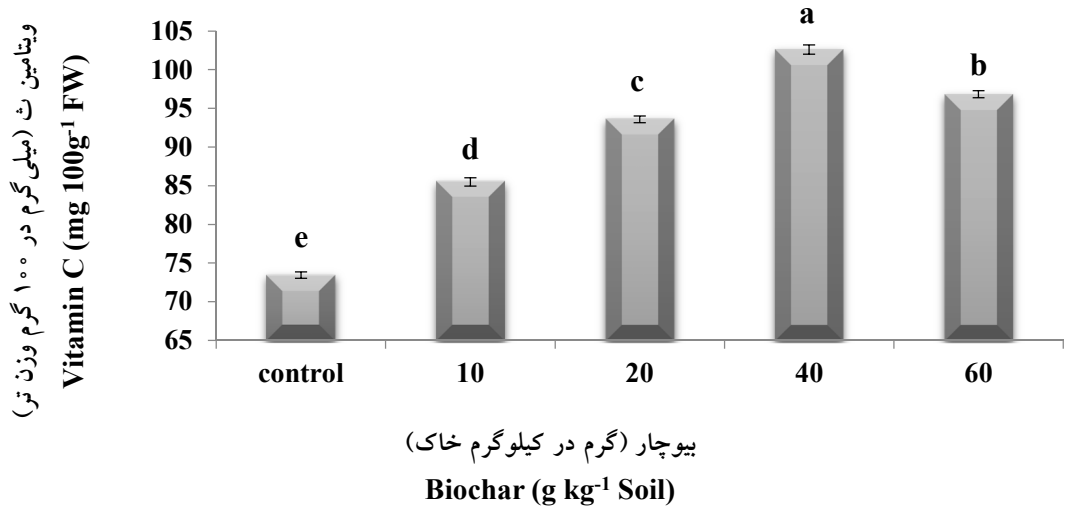
گزارش کردند. همچنین در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) نیز کاربرد بیوچار وزن میوه و تعداد میوه را افزایش داد (Ebrahimi et al., 2021).

شاخص ثبات غشاء سلول: نتایج نشان داد، کاربرد بیوچار شاخص ثبات غشاء سلول را به‌طور معنی‌داری (۱ درصد) افزایش داد (جدول ۳). بیش‌ترین شاخص ثبات غشاء سلول (۸۵/۳۹ درصد) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار آن (۶۵/۳۲ درصد) در شاهد مشاهده شد (جدول ۴). افزایش شاخص ثبات غشاء سلول می‌تواند به این دلیل باشد که بیوچار با تأثیرات مثبتی که بر افزایش پایداری غشا پلاسمایی، بهبود محتوای نسبی آب و ظرفیت نگهداری آب دارد موجب کاهش تنش اکسیداتیو، نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شود که درنتیجه شاخص ثبات غشا سلول را افزایش می‌دهد (Hafez et al., 2020) در گیاه گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نیز مصرف بیوچار شاخص ثبات غشاء سلول را افزایش داد (Taghizadehtabari et al., 2021). هم‌چنین غیاث و همکاران (۲۰۲۲) نیز افزایش شاخص ثبات غشاء سلول 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 pH میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که مواد جامد محلول در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک با ۴/۹۵ درجه بریکس بیش‌ترین و 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 ۴/۹۸ در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین با ۴/۱۹ در شاهد مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به نتایج مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیترا سیون و pH با کاربرد بیوچار افزایش یافت که می‌تواند مربوط به اثرات بیوچار در جذب نیتروژن و فسفر باشد زیرا جذب بهتر مواد غذایی سبب بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد می‌گردد (Hosseinnejad mir et al., 2021). نتایج سیمیله و همکاران (۲۰۲۰)، نشان داد کاربرد بیوچار موجب افزایش مواد جامد محلول و اسیدیته در گوجه‌فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.) گردید. هم‌چنین کاربرد بیوچار، مواد جامد محلول، اسیدیته و pH را در میوه مرکبات افزایش داد (Zhang et al., 2021).

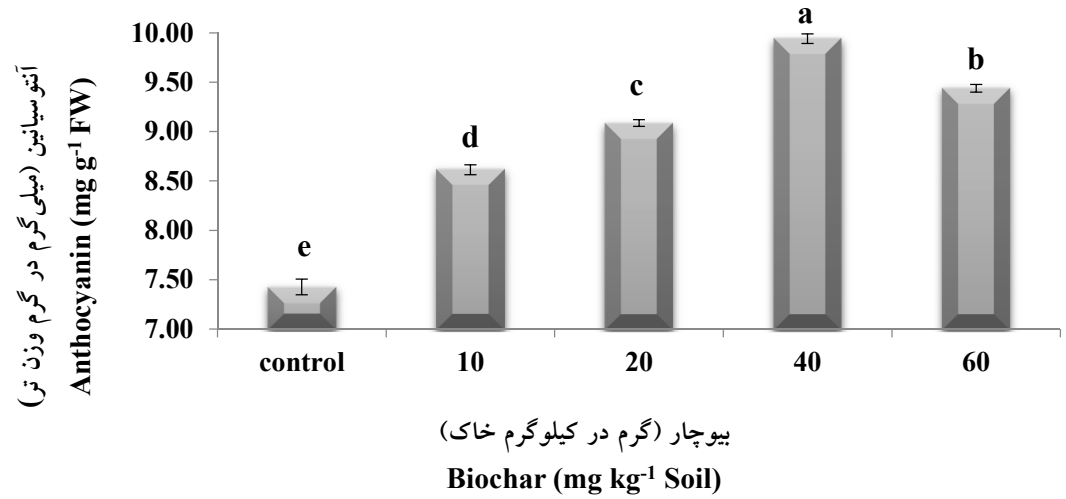
ویتامین ث: بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان ویتامین ث میوه نشان داد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان ویتامین ث میوه (۱۰۲/۶۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن (۷۳/۴۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در شاهد بود. کاربرد بیوچار میزان ویتامین ث را ۲۸/۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱). این امر را می‌توان به نقش بیوچار در بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و افزایش دسترسی عناصر غذایی نسبت داد. هم چنین با افزایش عناصر کم مصرف به‌ویژه عنصر روی که در تولید اکسین نقش دارد موجب افزایش اسید آسکوربیک می‌گردد (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 به سمت میوه می‌شود و درنهایت موجب افزایش آسکوربیک اسید در میوه می گردد (Hasanzade et al., 2017). نبئی و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثر مثبت بیوچار را بر افزایش ویتامین ث گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* Mill cv. Izmir) گزارش نمودند.

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر میزان ویتامین ث فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Fig. 1. Effect of different level of biochar on vitamin C content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

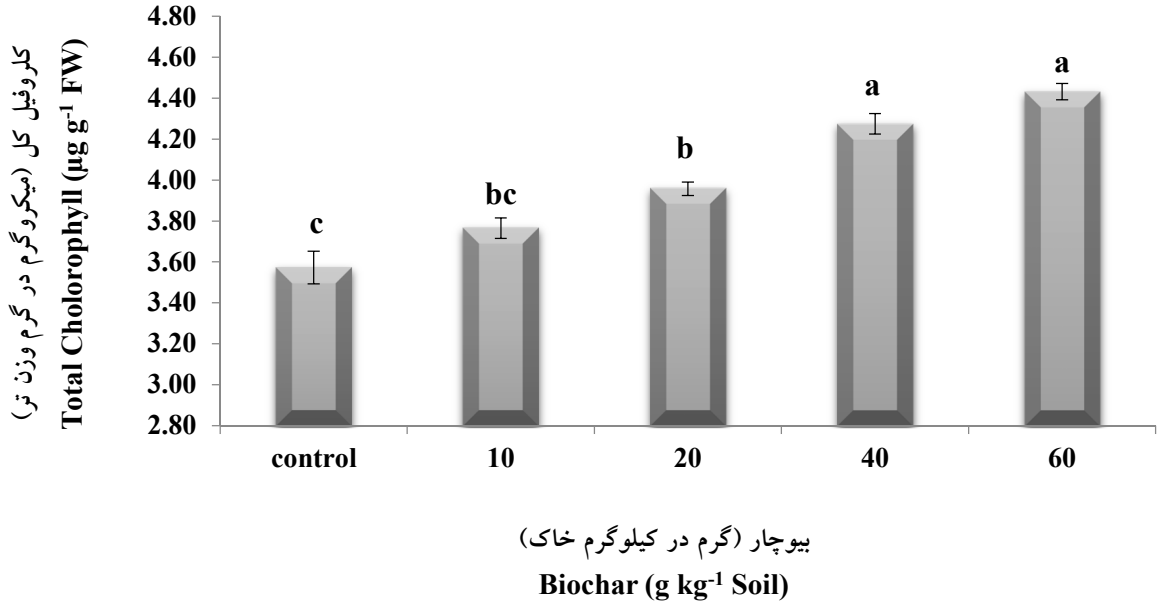


شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر میزان آنتوسیانین فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Fig .2. Effect of different level of biochar on anthocyanin content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

آنتو سیانین: همان‌طور که از شکل (۲) نمایان است، مصرف 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 تر در تیمار بیو چار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین با ۷/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در شاهد مشاهده شد. 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 هوادهی بیش‌تر 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 یونیس و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش میزان آنتوسیانین را در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) گزارش نمودند.

کلروفیل کل: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ در صد بر محتوای کلروفیل کل میوه داشت (جدول ۳). بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل



شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر محتوای کلروفیل کل فلفل کاپی (*Capsicum annuum* L.)

Fig. 3. Effect of different level of biochar on total chlorophyll content of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

با ۴/۴۳ میکروگرم در گرم وزن تر میوه در تیمار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک نداشت و کم‌ترین محتوای کلروفیل کل نیز با ۳/۵۷ میکروگرم در گرم وزن تر میوه در شاهد به‌دست آمد (شکل ۳). کاربرد بیوچار ۱۹/۴۱ درصد محتوای کلروفیل کل را افزایش داد، مطالعات نشان داده است که کاربرد بیوچار از طریق جلوگیری از بازدارندگی نوری فتوسیستم II موجب افزایش فتوسنتز، تنفس نوری و تولید مواد هیدروکربنی می‌شود (Bakhshipour, 2020). هم‌چنین مصرف بیوچار تأثیر مثبتی در جذب عناصری نظیر 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 ترکیبات ساختاری رنگدانه‌های گیاهی فعالیت می‌کنند، 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 گیاه 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 سوپر اکسید دیسموتاز: بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌دار (۱ درصد) فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز را افزایش داد (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیش ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز به‌ترتیب با ۴/۲۵، ۵/۹۸ و ۴/۰۵ واحد آنزیم در گرم وزن تر مربوط به تیمار بیوچار ۴۰ گرم در کیلوگرم خاک بود، درحالی‌که کم‌ترین فعالیت آنزیم‌ها به‌ترتیب با ۳/۲۴، ۴/۶۵ و ۳/۱۰ واحد آنزیم در گرم وزن تر مربوط به شاهد بود (جدول ۳). در گیاهان مختلف، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش حفاظتی در گیاهان دارند و باعث افزایش مقاومت در آن‌ها می‌شوند. استفاده از بیوچار موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. مطالعات نشان داده است که افزایش آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز بازدارنده فعالیت‌های اکسیداسیون و احیا فتوسیستم II است، بنابراین

کاربرد بیوچار سیستم دفاعی گیاه را

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

Table 5. Comparison mean of effect of different levels of biochar on the activity of Kapia Pepper (*Capsicum annuum* L.)

تیمار Treatment	سطح کاربرد Application Level ($g\ kg^{-1}$)	پراکسیداز (واحد آنزیم در گرم وزن تر) Peroxidase (U enzyme g^{-1} FW)	کاتالاز (واحد آنزیم در گرم وزن تر) Catalase (U enzyme g^{-1} FW)	سوپر اکسید دیسموتاز (واحد آنزیم در گرم وزن تر) 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}

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq0.05$ است.

Means with common letters at level of 5% have no significant different

با اثر بر زنجیره انتقال الکترون ها و تنظیم فعالیت آنزیم های محافظ نظیر پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز بهبود می‌بخشد (Lyu et al., 2016). مطابق با نتایج پژوهش حاضر در گیاهچه اسپرس نیز کاربرد بیوچار فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را 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 تر و خشک میوه، درصد شاخص ثبات غشاء سلول، طول میوه، تعداد میوه در بوته را شد. هم‌چنین این تیمار موجب افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز گردید. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول، pH و محتوای کلروفیل کل در تیمار بیوچار ۶۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد. به‌طور کلی از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت کاربرد بیوچار خصوصاً 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 بهبود رشد و 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. 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).

2. 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. Iran. J. Plant Physiol. 7(3), 2083–2093.

نسخه پیش از انتشار

https://doi.org/10.30495/ijpp.2017.533562.
3. 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).
4. Askari Sarcheshmeh, M. A., Karbasi M., Talaei, A., Babalar, M., Aghajani, S., 2019. Effect of foliar application of iron and zink 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).
5. 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. Ms.c Thesis. Lorestan University, Iran. (In Persian with English abstract).
6. Bakhshipour, F., Mumivand, H., Sedaghati, E., Ehteshamnia, A., 2022. Effects of biochar and *arbuscular mycorrhizal* 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)
7. 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).
8. Cheheltanan, L., Baninasab, B., Gholami, M., 2022. Alleviation of Salinity Effect on Almond by Foliar Spray of Hydrogen Sulfide. J. Soil.Plant Interaction 13(1), 1–14. https://doi.org/10.47176/jspi.13.1.02321 (In Persian with English abstract)
9. 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.
10. 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)
11. Flocco, C. G. and Giulietti, A. M., 2007. Methods in biotechnology. In N. Wiley (Ed.), Phytoremediation: methods and reviews. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc. 23, 161–173.
12. 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)
13. Ghoroori, Sh., Moghadam, M., Farhadi, N. 2023. The Changes of Physiological and Phytochemical Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-groecum*) in Response to Inoculation with Different Species of Mycorrhizal Fungi. J. Soil Plant Interaction 14 (1), 1–17. https://doi.org/10.47176/jspi.14.1.121013 (In Persian with English abstract)
14. Hafez, Y., Attia, K., Alamery. S., Ghazy., AL., Doss, A., Ibrahim, E., Rashwan, E., Elmaghrraby, L., Awad, A., Abdelaal, KH., 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. J. Agronomy 10, 1–18. https://doi.org/10.3390/agronomy10050630
15. 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).
16. 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. Manag. 11(3), 593–606. https://doi.org/10.22059/jwim.2021.328440.908 (In Persian with English abstract).
17. 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.
18. Khadem, A., Raeisi, F., Besharati, H., 2017. A Review of biochar effects on soil physical, chemical, and biological properties. Journal of land management 5(1), 13–30. https://doi.org/10.22092/lmj.2017.113291 (In Persian with English abstract).
19. 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. Resource. Conserv*. 12(1), 125–136. https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.20474 (In Persian with English abstract).
20. 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)

21. 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 Pyrolysis 72(2), 279–287. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.08.001
22. 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.
23. Meng, X., Wang, X., 2004. Relation of flower development and anthocyanin accumulation in *Gerbera hybrida*. J. hortic. sci. biotechnol. 79, 131–137. https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511725
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 Research in Agriculture* 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 promote 7(4), 189–96. https://doi.org/10.52547/jhehp.7.4.189.
27. 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
28. Pourmansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., Moosavi, A. A., 2019. Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions. *Water. Irrigation 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 physiologicaltraits in bean growing. 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