به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۴ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱
صفحه‌های ۹۰۱-۸۸۷
DOI: 10.22059/jci.2022.317724.2512

مقاله پژوهشی:

پیامد کاربرد زغال گرمایی و گرمابی مانده‌های گیاهی سیب‌زمینی بر شناسه‌های رشد گیاه لوبیا و میکوریزایی‌شدن آن در تنش خشکی

مهران بیگی خاروانی[1*]، علی‌اکبر صفری سنجانی[2]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران.
۲. استاد، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴

چکیده
برای بررسی پیامد کاربرد زغال گرمایی و زغال گرمابی فرآوری‌شده از مانده‌های گیاه سیب‌زمینی بر شناسه‌های رشد گیاه لوبیا، اندازه کلروفیل و میکوریزایی‌شدن ریشه در تنش خشکی، پژوهشی با طرح اسپلیت‌پلات با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا در سال ۱۳۹۶ انجام شد. کرت اصلی تنش خشکی با دو تیمار و کرت فرعی چهار تیمار بهساز از مانده‌های گیاه سیب‌زمینی بود. کاربرد تنش خشکی و بهسازهای گوناگون بر شناسه‌های رشدی گیاه، اندازه کلروفیل و میکوریزایی‌شدن ریشه پیامد چشم‌گیر داشت. تنش خشکی مایه کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه به‌ترتیب به اندازه ۳۹/۸ و ٤٦/١ درصدشد، هم‌چنین اندازه کلروفیل a (۵۲/٦ درصد)، کلروفیل b (۵۸ درصد)، کلروفیل کل (۵٤/۵۲ درصد) کاهش پیدا کرد. اگرچه گره‌زایی ریزوبیوم‌ها در تنش خشکی کاهش یافت، اما درصد میکوریزایی‌شدن ریشه‌ها ۱۹/۲ درصد افزایش یافت. کاربرد بیوچار مایه افزایش همزیستی گیاه لوبیا با قارچ‌های میکوریزی شد که در آن میکوریزایی‌شدن ریشه ۱۱/۳٤ درصد و فراوانی اسپورهای آن‌ها در خاک ۵۰/۵ درصد افزایش یافت. رشد گیاه و سبزینه آن در خاک تیمارشده با مانده‌های خام بیش‌ترین بود و مایه افزایش وزن خشک اندام هوایی (٤۹/۸ درصد) و اندازه کلروفیل a و b (۳/۵٤ و ۳٦/۸ درصد) شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که از میان تیمارهای تهیه‌شده از اندام هوایی سیب‌زمینی بهترین عملکرد مربوط به کاربرد بیوچار آن بود که این تیمار توانست اثرات منفی تنش خشکی بر گیاه لوبیا را کاهش دهد.

کلیدواژه‌ها: بیوچار، کلروفیل، گره‌زایی، همزیستی، هیدروچار.

Effect of Biochar And Hydrochar Produced from Potato Plant Residue on Bean Growth Indices and Mycorrhizal Symbiosis in Drought Stress

Mehran Beygi Kharvani[1*], Ali Akbar Safari Sinegani[2]
1. Former M.Sc. Student, Department Soil Sciences, Agriculture Faculty, Hamedan Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Professor, Department Soil Sciences, Agriculture Faculty, Hamedan Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
Received: April 12, 2021 Accepted: February 23, 2022

Abstract
A study was conducted as split plot layout with three replications at the research greenhouse of Bu-Ali Sina University, Hamedan in 2017 in order to investigate the consequences of using biochar and hydrochar, produced from potato plant residue on bean plant growth indices, chlorophyll content, and root mycorrhizal symbiosis in drought stress. The main plot and subplots in this study have been two drought levels and four amendment treatments, respectively. The study shows that the drought stress and the application amendments in various forms have had significant effects on plant growth indices, chlorophyll content, and root mycorrhizal colonization. Drought stress reduces root and shoot dry weights up to 39.8, 46.1%, leaf chlorophyll a (Chl a) content up to 52.6%, chlorophyll b (Chl b) content up to 58%, and total chlorophyll up to 54.52%. Although the number of rhizobium nodule on the root of plant decreases in drought stress, the rate of root mycorrhiza rises by 19.2% in drought stress. The use of biochar increased the mycorrhizal symbiotic indices significantly. It increases root colonization 11.34% and Glomeromycota spore number 50.5% in soil. The application of raw residue in soil has had the most positive effects on the plant growth indices and the leaf chlorophyll contents, leading to increased shoot dry weights (49.8%) and chlorophyll a, b and total contents (3.54%, 36.8%, and 14.5% respectively). The findings of this study show that among the treatments, the best plant growth index has been obtained in the use of potato biochar, which reduces the harmful effects of drought stress on the bean plant.

Keywords: Biochar, chlorophyll, hydrochar, mycorrhizal symbiosis, nodulatio.

* نویسنده مسئول Email: m.beygikharvani@agr.basu.ac.ir

۱. مقدمه

کمبود آب یکی از مهم‌ترین کاهش‌دهنده‌های کارکرد گیاهان در پهنه جهانی است که با گذشت زمان با دگرش آب‌وهوا همراه با کاربرد نادرست آب در کشاورزی رو به افزایش است. آب یکی از پایه‌های زندگی است که بدون آن هیچ جانداری نمی‌تواند زنده بماند. نزدیک ۳۱ درصد از سطح زمین را آب فراگرفته است اما از بخت بد دشواری کمبود آب در بسیاری از کشورهای جهان و به‌ویژه کشورهای کمربند خشک زمین مانند ایران، رو به افزایش است. درمیان شناسه‌های زیستی که بر رشد گیاهان پیامد دارد، کمبود آب بیش‌ترین آسیب را به گیاهان به‌ویژه در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک جهان می‌زند (Rizwan *et al*., 2015). Ghobadi *et al*. (2013) گزارش کردند تنش خشکی متوسط و شدید مایه کاهش اندازه کلروفیل a، ۱۵/۲ و ۲٤/٤ و کلروفیل b، ۱۸/۳ و ۲۵/۱ درصد، جذب نور و در پایان کارکرد گیاه آفتابگردان می‌شود.

بیوچار یک ماده آلی پایدار است که در دمای بالا و نبود یا کمبود اکسیژن فرآوری شده و همانند یک بهساز در خاک برای بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش تنش‌های زیستی مانند شوری و خشکسالی به‌کار می‌رود (Rady *et al*., 2018). هم‌چنین نشان داده شده است که بیوچار گنجایش نگهداری آب در خاک، توان حاصلخیزی خاک، بهره‌وری فرآورده گیاهی و هم‌چنین کربن‌اندوزی در خاک را بهبود می‌بخشد و پخش گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد (Nielsen *et al*., 2018). بهره‌گیری از بیوچار می‌تواند مایه: i) افزایش کارکرد ریزجانداران خاک با افزایش هوادهی، ii) کاهش چگالی ظاهری خاک، iii) افزایش دمای کمپوست، IV) کاهش تبخیر آمونیاک، v) افزایش گنجایش نگهداری آب، vi) کاهش هدرروی مواد خوراکی گیاهی با آبشویی، vii) کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG) و پخش بو، viii) بهبود پوسیدگی کودهای آلی و شیرابه‌ها یا آمیزه‌های زیست‌بیگانه (زنوبیوتیک) شود (Akdeniz, 2019; El-Naggar *et al*., 2019; Godlewska *et al*., 2017; Abbas *et al*., 2017; Salam *et al*., 2019).

بیوچار ساخته‌شده از پوسته برنج و دانه کتان به‌گونه چشم‌گیری ذخیره نیتروژن در گیاه و در پی آن شاخص سبزینگی گندم را افزایش داده است (Akhtar *et al*., 2015). در پژوهشی گزارش شده است که تنش خشکی مایه کاهش چشم‌گیر میکوریزایی‌شدن ریشه، فراوانی اسپورها، میسلیوم، وزیکول‌ها و آربسکول‌ها می‌شود و کاربرد بیوچار می‌تواند نشان تأثیرات بد خشکی را کاهش داده و اندازه این ویژگی‌ها را افزایش دهد. در این پژوهش فراوانی اسپورها در ۱۰۰ گرم خاک با افزایش رشد میسلیوم در خاک افزایش یافت و فراوانی میسلیوم با فراوانی اسپورهای خاک همبستگی مثبت و چشم‌گیری را نشان داد (Abeer Hashem *et al*., 2019). پژوهش‌گران دیگر نشان دادند که کاربرد بیوچار مایه افزایش کلونیزاسیون ریشه با قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا در گیاهان می‌شود که خود مایه افزایش گلومالین، یا گلیکوپروتئین هیف‌های این قارچ ها می‌شود (Yamato *et al*., 2006; Luna *et al*., 2016).

هیدروچار یا زغال گرمابی، یک آمیزه جامد قهوه‌ای با ویژگی‌هایی همانند زغال سنگ است که از گرمادادن زیست‌توده در درون یک سامانه بسته زیر فشار و دمای بالا فرآوری می‌شود (Novak *et al*., 2014). افزودن زغال گرمابی به خاک نیز مایه کاهش رواناب و فرسایش خاک، مایه جلوگیری از هدررفت عناصر خوراکی گیاهان از خاک مانند نیتروژن و فسفر شده و با افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک مایه کاهش آبشویی نیترات از خاک و مایه کاهش نیاز آبی شده و در پی آن شانس آبشویی و فرسایش خاک و هدررفت عناصر خوراکی گیاهی را کاهش می‌دهد (Vico *et al*., 2018).

حبوبات خاستگاه شناخته‌شده‌ای برای فراهم‌کردن پروتئین‌های گیاهی هستند (Amalfitano *et al.*, 2018a). کشت گسترده حبوبات یک راه شایسته برای فراهم‌کردن خوراک مردم و جلوگیری از بدترشدن هوای جهانی با گازهای گلخانه‌ای، بهداشت خاک، تثبیت نیتروژن، افزایش گوناگونی زیستی و هزینه‌های انرژی است (Amalfitano *et al.*, 2018b). در میان حبوبات، کشت لوبیا در کشاورزی جایگاه ویژه ای به‌دست آورده است (Davari *et al.*, 2018). لوبیا (*Phaseolus vulgaris.L*) یک خاستگاه و سرچشمه‌ای مهم برای برآوردن نیاز خوراکی مردم در سراسر دنیا به‌شمار می‌رود که با دارابودن پروتئین، فیبر و ویتامین در دانه ارزش خوراکی بالایی دارد. این گیاه خاستگاه پروتئین گیاهی مردم در بسیاری از کشورهای روبه پیشرفت به‌شمار می‌رود (Karasu &Oz, 2010).

کمبود آب در کشور و شایسته‌بودن گیاه لوبیا و هم‌چنین پژوهش‌های یادشده در بالا دست‌مایه انجام این پژوهش شد. هدف این پژوهش ارزیابی توان ریخت‌های گوناگون کودهای آلی فرآوری‌شده از مانده‌های کم‌ارزش اندام هوایی سیب‌زمینی به گونه خام، زغال گرمایی و گرمابی بر کاهش پیامد بد تنش خشکی بر گیاه لوبیا می‌باشد تا بهترین شیوه تیمار خاک در کشت این گیاه آشکار شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. نمونه‌برداری، فرآوری بیوچار و هیدروچار

برای انجام این پژوهش از لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک-های پشت دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا با جایگاه جغرافیایی (″۵۹ ′۴۷ °۳۴ عرض شمالی و ۵۳ ′۲۸ °۴۸ طول شرقی) نمونه‌برداری شد. برای آماده‌کردن بیوچار از مانده‌های هوایی گیاه سیب‌زمینی بهره‌گیری شد که پس از هواخشک‌کردن آن‌ها از الک دو میلی‌متری گذرانده و برای دگرگون‌شدن به زغال گرمایی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و بدون اکسیژن در کوره‌ای ویژه برای پنج ساعت گذاشته شد (Weber & Quicker, 2018). برای آماده‌کردن هیدروچار نیز مانده‌های آلی به گونه هواخشک‌شده در اتوکلاو در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۵ اتمسفر برای سه ساعت گذاشته شد (Kruse *et al.*, 2013). نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک به‌کاررفته در این پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

بدین‌گونه خاک دارای بافتی میانه با pH خنثی (۷/۷٤)، شوری کم (۰/۱٤ دسی‌زیمنس بر متر)، فسفر و پتاسیم فراهم خاک شایسته (به‌ترتیب ۲۳/۸۸ و ۱۹۵/٦۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) برای رشد گیاه دارد و از دیدگاه زیستی نیز خاکی زنده به‌شمار می‌آید.

ویژگی‌های شیمیایی اندام هوایی گیاه سیب‌زمینی که برای کاربرد در پژوهش به گونه خام، هیدروچار و بیوچار در آمده است نیز در جدول (۲) آورده شده است. مانده‌های گیاه سیب‌زمینی، هیدروچار و بیوچار آن دارای pH به‌ترتیب ٦/٥٤، ٦/۷۳، ۷/۲٥، رسانندگی الکتریکی ۰/٦٤، ۰/۷۹، ۰/۸٥ دسی‌زیمنس بر متر، پتاسیم فراهم به‌ترتیب ۱۷٤/۱۸، ۱۸۹/۱۸۱،۷۳/۳٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاکستر به‌ترتیب ۱۷/٥۷، ۲٥/٤٦، ٤۰/٦ درصد می‌باشد.

بنابراین در بررسی ویژگی‌های بهسازهای سیب‌زمینی دیده شد که در بیش‌تر ویژگی‌ها، بالاترین اندازه‌ها را بیوچار و پس‌آز آن هیدروچار و کم‌ترین را مانده‌های خام آن داشت.

۲. ۲. تیمار خاک با بهسازها

این پژوهش به‌صورت طرح اسپلیت‌پلات یا کرت‌های خردشده انجام شد که در آن کرت اصلی تنش خشکی با دو تیمار بدون تنش یا آبیاری کامل (FC) و با تنش خشکی یا ٤۰ درصد آبیاری کامل (FC ۰/٤) و کرت فرعی کاربرد

بهساز در چهار تیمار بدون بهساز (شاهد) و دو درصد از هر یک به گونه خام، زغال گرمایی (بیوچار) و زغال گرمابی (هیدروچار) بود که در کشت لوبیا سبز در سه تکرار و در ۲۱ گلدان انجام شد، هر گلدان نیز دارای سه بوته لوبیا بود.

جدول ۱. میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

ویژگی	میانگین	انحراف معیار
بافت	لوم	–
شن (%)	٤٢/١	١/٠٥٠
سیلت (%)	٤٥/٣	١/٠٦٠
رس (%)	١٢/٦	٠/٠١١
کربنات کلسیم معادل (%)	١/٤٧	٠/٠٤٤
گنجایش دادوستد کاتیونی ($Cmol^{+}/Kg$)	٣/٤٢	٠/٢١٧
کربن الی (%)	٠/٧٧	٠/٠٢٩
pH	٧/٧٤	٠/٠٢٠
رسانندگی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	٠/١٤	٠/٠٠٥
فسفر فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	٢٣/٨٨	٢/٠٣
سدیم فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	١٩/٩٢	٣/٧٨
پتاسیم فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	١٩٥/٦٣	٥/٦٣
لگاریتم فراوانی باکتری‌ها (CFU.g-1 soil)	٦/٥٠	٠/٠٠٧
لگاریتم فراوانی باکتری‌های سودوموناس فلورسنست (CFU.g-1 soil)	٤/٤٣	٠/٠٢٠
لگاریتم فراوانی قارچ‌ها (CFU.g-1 soil)	٣/٧٦	٠/١٠١
لگاریتم فراوانی اکتینومیست‌ها (CFU.g-1 soil)	٣/٩٣	٠/١١١
تنفس پایه ($mgCO2g^{-1}\ soil.day^{-1}$)	٠/٠٤	٠/٠٠٠٧
تنفس برانگیخته ($mgCO2g^{-1}\ soil.day^{-1}$)	٠/١٣	٠/٠٠٣
فراوانی اسپور گلومرال‌ها (N/10gr soil)	٢٣/٥٢	١/٤٥

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی ماده آلی، هیدروچار و بیوچار بوته سیب‌زمینی

	خام		هیدروچار		بیوچار	
ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
pH	٦/٥٤	٠/٠٧٨	٦/٧٣	٠/١٦٩	٧/٢٥	٠/٠٣
رسانندگی الکتریکی ($ds\ m^{-1}$)	٠/٦٤	٠/٠٠٥	٠/٧٩	٠/٠١١	٠/٨٥	٠/٠١١
فسفر فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	٢/١٧١	٥/٤٦	٤/١٤٦	٥/٦٨	٦/٢٤٦	٦/٨٥
سدیم فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	٩٨/١	٢/١٤	١٠٠/١٢	٢/٣٥	١١٢/١٤	٢/٨١
پتاسیم فراهم ($mg\ kg^{-1}\ soil$)	١٧٤/١٨	١/٦٤	١٨١/٣٥	١/٧٥	١٨٩/٧٣	٢/٠٢
درصد خاکستر (%)	١٧/٥٧	٠/٤٩	٢٥/٤٦	٠/٣٥	٤٠/٦	٠/٤

۲. ۳. آماده‌سازی گلدان‌ها

برای کشت گیاه لوبیا سبز (رقم سانری که بومی کشور آمریکا است)، از گلدان‌هایی با بلندی ۲۵ و پهنای دهانه ۲۰ سانتی‌متر بهره‌گیری شد، که در ته هرکدام از گلدان‌ها شن و سنگریزه قرار داده و سه کیلوگرم خاک تیمارشده با بهسازها ریخته شد. سپس برای این‌که بذرها جوانه‌زنی خوبی داشته باشند، آن‌ها را برای ٤٨ ساعت در پارچه نمناک نگهداری کرده و در پایان بذرها (۱۰ بذر) به‌آرامی در درون هر گلدان از پیش آماده‌شده، کاشته شد. بوته‌ها پس از جوانه‌زنی و رشد آغازین تنک شدند و در هر گلدان سه بوته نگهداری شد و تا زمان رشد شایسته به گونه‌ای روزانه آبیاری شدند که در نم گنجایش کشاورزی (بدون تنش) و در نم ۰/٤ گنجایش کشاورزی (با تنش خشکی) بمانند. پس از رسیدن گیاه به گام زایشی و گلدهی، خاک درون گلدان‌ها پس از ٦۰ روز برداشت و برای انجام آزمایش به آزمایشگاه برده شد.

۲. ٤. اندازه‌گیری شناسه‌های رشدی گیاه

برای ارزیابی توان رشد گیاه در تیمارهای یادشده، اندام‌های هوایی و ریشه گیاه در آغاز گام گلدهی آن برداشت شد، پس از برداشت وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد. برای به‌دست‌آوردن وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان هرکدام به گونه جداگانه برای ٤٨ ساعت در آون (مدل E۱۲۰BM، ایران) با دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

۲. ۵. اندازه‌گیری کلروفیل برگ

برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ در آغاز ۰/۲۵ گرم از نمونه برگ تازه به همراه ازت مایه در هاون به خوبی ساییده شد. سپس به آن هشت میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد افزوده و دوباره ساییده شد و محلول به‌دست‌آمده برای ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد. محلول بالایی را در یک لوله سانتریفیوژ پاک ریخته، سپس تکه‌های مانده را دوباره با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و برای ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ می‌کنیم و عصاره رویی به محلول پیشین افزوده شد. از این عصاره‌ها برای سنجش اندازه کلروفیل a و b بهره‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل از دستگاه اسپکتروفتومتر (واریان کری ۱۰۰، آمریکا) با طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤٥ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و b بهره‌گیری شد (Strain & Svic, 1966).

۲. ٦. اندازه‌گیری درصد میکوریزایی‌شدن ریشه

برای برآورد درصد همزیستی میکوریزایی، ریشه‌های لوبیا برداشت و سپس شسته شده و ریشه‌ها برای انجام این آزمایش گزینش شدند. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از روش Phillips & Hayman (1970) بهره‌گیری شد، هم‌چنین برای برآورد درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها از روش تلاقی خطوط مشبک بهره‌گیری شد (Dalpé, 1993). برای این کار ریشه‌ها در آغاز رنگ‌آمیزی شده، سپس به گونه تصادفی در درون پتری با خطوط مشبک پخش شدند، سپس نقاط افقی و عمودی که ریشه با آن‌ها برخورد داشته شمارش شده و پس از آن در زیر میکروسکوپ نقاطی رنگی که در روی آن همزیستی دیده می شد، شمارش شد.

۲. ۷. شمارش اسپور گلومرومایکوتا

شمارش اسپور گلومرومایکوتا بر پایه روش غربال و گرادیان ساکارز سوسپانسیون وزن ویژه‌ای از خاک نمناک انجام شد (Sylvia, 1994). برای این کار روی ۵۰ گرم خاک در یک سطل به اندازه یک لیتر آب ریخته و به‌خوبی به‌هم زده تا خاکدانه‌ها جدا شوند. سوسپانسیون آماده شده را از الک ۲۰ تا ٦۰ مش گذرانده و آن‌چه روی هر الک ماند در درون پتری‌دیش‌هایی شسته شد و در درون لوله‌های سانتریفیوژ با

حجم یکسان ریخته و برای چهار دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویین را دور ریخته و لوله تا نیمه با محلول شکری (یک پوند شکر در لیتر) پر شد. لوله‌ها را روی ویبراتور گذاشته تا دانه‌های ته‌نشین‌شده پخش شوند و سپس به‌کمک محلول شکری لوله‌ها پر شد و برای یک دقیقه در دور ۱۵۰۰ سانتریفیوژ شد. محلول شکری رویین را روی الک ۵۰۰ مش ریخته، با آب شسته و سپس اسپورها درون یک پتری‌دیش مدرج برای شمارش در زیر میکروسکوپ ریخته شد.

۲. ۸. اندازه‌گیری گلومالین ساده و همه گلومالین

برای اندازه‌گیری گلومالین ساده[1] (EEG) یک گرم خاک گذرکرده از الک دو میلی‌متری را درون لوله سانتریفیوژ ریخته و هشت میلی‌لیتر محلول سیترات‌سدیم ۲۰ میلی‌مولار افزوده شد و ۳۰ ثانیه ورتکس شد، سپس برای ٦۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شد. پس از آن برای ۱۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ کرده و محلول رویی در لوله پاک ریخته شد (Wright & Upadhyaya, 1996).

برای بیرون‌کشیدن همه گلومالین خاک[2] (TG) هشت میلی‌لیتر از محلول سیترات‌سدیم ۵۰ میلی‌مولار بر نمونه خاک درون لوله سانتریفیوژ ریخته شد، سپس ۳۰ ثانیه ورتکس شد و دیگر گام‌ها همانند EEG انجام شد. پس از آن اندازه گلومالین عصاره‌های پالایش‌شده به روش بردفورد (Bradford, 1976) و استانداردهای آلبومین سرم گاوی در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Wright & Upadhyaya, 1996).

۲. ۹. تجزیه آماری

همه داده‌ها با نرم‌افزار Excel و SAS (نسخه ۹/٤) پردازش و آزمون شد و آزمون میانگین‌ها به روش دانکن در پایه آماری پنج درصد انجام شد. پیش از انجام آزمون‌های آماری، نرمال‌بودن پراکندگی داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) و آزمون کولموگروف- اسمیرونوف بررسی شد.

۳. نتایج

۳. ۱. پیامد کاربرد بهسازها بر وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه

تجزیه واریانس داده های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری وزن خشک گیاه نشان داد که تنش و کاربرد بهساز هرکدام به گونه جداگانه بر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌دار داشته‌اند. افزون بر آن برهم‌کنش این تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌دار داشت. آزمون میانگین وزن خشک اندام هوایی (جدول ۳) نشان داد، تنش وزن خشک اندام هوایی را در خاک بدون بهساز از (۵/۷۲ به ۵/٤۹ گرم در گلدان) کاهش داده است. در میان بهسازهای سیب‌زمینی کاربرد آن به گونه ماده خام و سپس هیدروچار در خاک بدون تنش بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (۸/۵۷ و ٦/۷۸ گرم در گلدان) را نشان داد. جای شگفتی است که وزن خشک اندام‌های هوایی در خاک داری تنش در تیمار بهسازها کم‌تر از آن در خاک بدون بهساز است. این شاید وابسته به توان کشش و نگهداری آب در بهسازها در برابر گیاه در خاک دارای تنش باشد. به گونه‌ای که کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی (۲/۳۲ گرم در گلدان) در کاربرد بیوچار در تنش خشکی اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری وزن خشک ریشه نشان داد که پیامد تنش خشکی بر وزن خشک آن در سطح ۰/۰۵ چشم‌گیر است. اما پیامد کاربرد بهسازها و برهمکنش تیمارها بر وزن خشک ریشه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. از این‌رو آزمون

۱. Easily extractable glomalin

۲. Total glomalin

میانگین‌ها تنها برای تیمار تنش خشکی انجام شد. آزمون میانگین وزن خشک ریشه در (جدول ٤) نشان داد، تنش خشکی مایه کاهش وزن خشک ریشه از ۳/۲۳ به ۱/۷٤ گرم بر گلدان کاهش یافت. به هر گونه کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی نتوانست تغییر چشم‌گیری را در وزن خشک ریشه پدید آورد.

جدول ۳. آزمون میانگین وزن خشک اندام هوایی گیاه لوبیا (گرم در گلدان) در برهم‌کنش تیمارهای تنش‌خشکی و کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی

تیمار		وزن خشک بوته (gr)
بدون‌تنش	گواه	۵/۷۲±۰/۱۳bc
	ماده خام	۸/۵۷±۲/۲۰a
	هیدروچار	٦/۷۸±۰/٤۹ab
	بیوچار	٤/۸۵±۰/۸٤bcd
باتنش	گواه	۵/٤۹±۰/٦۸bcd
	ماده خام	۳/۸٤±۱/۲۳cde
	هیدروچار	۳/۵٦±۰/۷۹de
	بیوچار	۲/۳۲±۰/٤۸e

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ٤. آزمون میانگین وزن خشک ریشه گیاه لوبیا (گرم در گلدان) در تیمارهای تنش‌خشکی

تیمار	وزن خشک ریشه (gr)
بدون تنش	۳/۲۳±۰/۱۹a
با تنش	۱/۷٤±۰/۳۰b

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

تنش خشکی یک دشواری بزرگ برای زیستن گیاهان در خاک است که مایه ناهنجاری در فیزیولوژی گیاه و کاهش رشد می‌شود. در این پژوهش تنش خشکی مایه کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه لوبیا شده که با پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (Moosavi *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2016; de Silva *et al.*, 2012). از سوی دیگر کاهش زیست‌توده گیاهی در هنگام خشکسالی می‌تواند وابسته به ناهنجاری در زیست‌فراهمی عناصر خوراکی برای گیاهان باشد (Moosavi *et al.*, 2015). تنش خشکی به گونه چشم‌گیری مایه کاهش درازی شاخساره و سنبله و وزن خشک شاخه، ریشه، خوشه و دانه گیاه گندم در برابر گواه بدون تنش شد (Abbas *et al.*, 2018). گیاه لوبیا در برابر تنش خشکی بردباری کمی داشته و در این پژوهش نیز به تنش خشکی پاسخ نمایانی داشت.

گزارش شده است بیوچار با ویژگی‌های یگانه خود، مانند سطح ویژه بزرگ (SA)، ساختار پرسوراخ، گروه‌های اکسیژنی فراوان (O) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا می‌تواند برای بهبود ویژگی‌های خاک و رشد گیاه به‌کار رود (El-Naggar *et al.*, 2019; Purakayastha *et al.*, 2019; Ding *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2020). هم‌چنین Jeffery *et al.* (2017) گزارش کردند که کاربرد بیوچار مایه افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک شده که مایه افزایش زیست‌فراهمی عناصر خوراکی برای گیاه در خاک می‌شود. در آزمایشی در کشت گلخانه تأثیر بیوچار و کودهای شیمیایی بر کارکرد سویا در یک خاک آهکی بررسی شد، کاربرد بیوچار مایه افزایش ٦۷ درصدی اندازه وزن خشک همه گیاه سویا شد (Shamim *et al.*, 2015).

همه این پژوهش‌ها با پژوهش انجام‌شده در کشت لوبیا هم‌خوانی ندارند. در این پژوهش دیده شد که وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه لوبیا در کاربرد مانده‌های خام بیش‌تر از بیوچار این گیاه است. از سوی دیگر گزارش شده است که بهسازی خاک با بیوچار با دگرش زیستگاه شیمیایی ریشه، اندازه نیتروژن و کربن آلی خاک مایه بهترشدن کارکرد رشد گیاه می‌شود. بهسازی خاک با بیوچار مایه افزایش ذخیره کربن در خاک و نگهداری آب و در پی آن بهبود رشد گیاه

در خشکسالی می‌شود. هم‌چنین پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد بیوچار ساخته‌شده از کود مرغی مایه افزایش رشد گیاه لوبیا شد (Gunes *et al*., 2014).

شگفت است که چنین نشانه‌هایی از کاربرد بیوچار گیاه سیب‌زمینی در کشت لوبیا سبز دیده نشد و پیامد کاربرد مانده‌های خام این گیاه و هم‌چنین هیدروچار آن بر شناسه‌های رشدی گیاه لوبیا بهتر بود. این یافته شاید به گونه و ساختار آمیزه‌های آلی گیاه سیب‌زمینی وابسته باشد که بیوچار آن از راه گرفتن نیتروژن مایه کاهش سبزینه و در پی آن کاهش رشد گیاه شده است.

۳. ۲. نشان کاربرد بهسازها بر اندازه کلروفیل برگ

کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی و تنش خشکی در خاک به گونه چشم‌گیری بر اندازه کلروفیل برگ گیاه لوبیا پیامد دارد. تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری کلروفیل برگ نشان داد که تنش خشکی در سطح آماری ۰/۰۱ بر اندازه کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ پیامد دارد. کاربرد بهسازها نیز بر کلروفیل a و کلروفیل b، در سطح ۰/۰۵ و بر کلروفیل کل در سطح آماری ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت، اما پیامد برهمکنش تنش با بهسازهای به‌کار رفته بر هیچ‌کدام از ویژگی‌های بالا از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت.

آزمون میانگین اندازه کلروفیل a برگ لوبیا (جدول ۵) نشان داد که تنش خشکی مایه کاهش اندازه کلروفیل برگ شد. در کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی به گونه خام و هیدروچار این ریخت از کلروفیل در گیاه به‌ترتیب ۱۵/۴۷ و ۱۴/۵۱ میلی‌گرم بر گرم بود که از نظر آماری ناهمانندی چشم‌گیری با گواه آزمایش (۱۴/۹۴ میلی‌گرم بر گرم) نداشت، اما هنگام کاربرد بیوچار این مانده گیاهی کلروفیل a برگ (۱۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) به گونه چشم‌گیری در برابر گواه آزمایش کاهش داشت. اندازه‌گیری و آزمون کلروفیل b و هم‌چنین کلروفیل کل گیاه یافته‌های همانندی به‌دست داد و آن‌ها نیز با تنش خشکی به گونه چشم‌گیری کاهش و در تیمار بیوچار مانده‌های سیب‌زمینی کم‌ترین بودند که این با یافته‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری وزن خشک ریشه هم‌خوانی داشت.

پژوهش‌گران گزارش دادند که تیمار خاک با بیوچار و قارچ آربسکولار مایکوریزا مایه افزایش جذب فسفر و نیتروژن شده که به رشد بیش‌تر گیاه در خشکی کمک می‌کند (Razaq *et al*., 2017; Paetsch *et al*., 2018). در پژوهش انجام‌شده دیده شد که در خاک‌های بهسازی‌شده با بیوچار کلروفیل برگ به گونه چشم‌گیری کاهش یافته و اندازه وزن خشک اندام هوایی به‌ویژه در تنش خشکی کم‌ترین است.

جدول ۵. آزمون میانگین اندازه کلروفیل برگ در تیمارهای تنش‌خشکی و کاربرد بهساز سیب‌زمینی

تیمار		کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)
تنش	بدون تنش	۱۸/۹۱±۳/۷۵a	۱۰/۴۵۹±۳/۸۹a	۲۹/۳۶±۵/۷۵a
	با تنش	۸/۹۶±۳/۰۶b	۴/۳۹۲±۱/۵۴b	۱۳/۳۵±۴/۷۵b
بهساز	گواه	۱۴/۹۴±۴/۹۶ab	۷/۴۰±۳/۵۱ab	۲۲/۳۳±۸/۳۸ab
	ماده خام	۱۵/۴۷±۵/۸۸a	۱۰/۱۳±۵/۷۴a	۲۵/۵۷±۹/۵۱a
	هیدروچار	۱۴/۵۱±۶/۷۴ab	۶/۹۰±۳/۳۹b	۲۱/۴۱±۱۰/۱۰b
	بیوچار	۱۰/۸۵±۷/۰۶b	۵/۲۶±۳/۳۴b	۱۶/۱۰±۱۰/۳۹c

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Schmidt *et al.* (2014) گزارش کردند که اندازه بالای بیوچار می‌تواند مایه بی‌جنبش‌شدن عناصر خوراکی گیاه به‌ویژه نیتروژن شده که رشد گیاه را می‌کاهد که این گزارش با پژوهش انجام‌شده هم‌خوانی دارد و کاهش کلروفیل برگ می‌تواند به کمبود نیتروژن در گیاه در تیمار بیوچار وابسته باشد. در برابر آن در پژوهش‌های دیگری (Gavili *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020) گزارش کردند که کاربرد بیوچار مایه افزایش نیتروژن در برگ‌های بالایی در برابر برگ‌های پایینی گیاه شد. در آن پژوهش کاربرد بیوچار مایه جابه‌جایی بهتر کلروفیل به بخش‌های گوناگون برگ در گیاهان شد که رشد بهتر گیاه را در پی داشت.

افزایش شناسه‌های سبزینگی گیاه لوبیا در خاک بدون تنش آبی با افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه آن هم‌خوانی دارد. در پژوهشی همراستا با این پژوهش تنش خشکی به‌تنهایی مایه کاهش چشم‌گیر کلروفیل a و کلروفیل b برگ گندم شده است؛ ولی در آن پژوهش بیوچار اندازه کلروفیل برگ را در برابر خاک بدون بیوچار به گونه چشم‌گیری افزایش داد (Abbas *et al.*, 2018). در پژوهش‌های دیگر گیاهان نیز در تنش خشکی، کاربرد بیوچار مایه افزایش کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه شده است (Bashir *et al.*, 2020; Hashem *et al.*, 2019; Zeeshan *et al.*, 2020) که این پژوهش‌ها با پژوهش انجام‌شده هم‌خوانی ندارند، که دلیل آن می‌تواند وابسته به کمبود نیتروژن در گیاه باشد. فراهمی نیتروژن برای گیاه لوبیا بستگی به ویژگی‌های مانده‌های سیب‌زمینی و چگونگی زغال‌سازی آن دارد.

۳.۳. پیامد کاربرد بهسازها بر درصد میکوریزایی‌شدن ریشه

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی میکوریزایی‌شدن ریشه نشان داد که پیامد تنش خشکی، کاربرد ماده بهساز و برهم‌کنش آن‌ها بر کلونیزاسیون ریشه در سطح آماری ۰/۰۱ چشم‌گیر بود. آزمون میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه (جدول ٦) نشان داد که تنش خشکی در خاک بدون بهساز مایه افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها از ۲۸/۸٤ در خاک بدون تنش به ۳٤/۳۹ در تیمار تنش خشکی شد. در هر دو خاک با کاربرد ماده بهساز (سیب‌زمینی) درصد کلونیزاسیون ریشه در برابر گواه آزمایش افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین اندازه درصد کلونیزاسیون ریشه در خاک بدون تنش در تیمار بهساز خام و بیوچار شده (۳۵/۹٦ و ۳۵/۹٤ درصد) به‌دست آمد و پس از آن‌ها هیدروچار با اندازه ۳٤/۵۹ درصد بود. در تیمار تنش خشکی نیز بیش‌ترین اندازه کلونیزاسیون ریشه را بهساز بیوچار داشت. در آخر این بخش از پژوهش نشان داد که کاربرد مانده های سیب‌زمینی به‌ویژه به گونه هیدروچار و بیوچار همزیستی میکوریزایی را در تنش خشکی بهبود داده است.

جدول ٦. آزمون میانگین‌های درصد کلونیزاسیون ریشه در برهم‌کنش تنش‌خشکی و بهسازهای سیب‌زمینی

تیمار		کلونیزاسیون ریشه (%)
بدون تنش	گواه	۲۸/۸٤±۲/۱۹c
	ماده خام	۳۵/۹٦±۲/۲۰ab
	هیدروچار	۳٤/۵۹±۱/۱۳b
	بیوچار	۳۵/۹٤±۰/۹۲ab
با تنش	گواه	۳٤/۳۹±۱/۲۱b
	ماده خام	۲۹/٦۲±۱/۵۵c
	هیدروچار	۳۵/۵۷±۱/۷۱ab
	بیوچار	۳۸/۲۹±۰/۹۵a

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در بررسی همزیستی ریشه گیاه لوبیا با قارچ‌های شاخه گلومرومایکوتا و درصد میکوریزایی‌شدن ریشه یافته‌ها وارونه رشد گیاه و سبزینه آن بود. درصد میکوریزی‌شدن ریشه گیاه در خاک با تنش بیش‌تر از خاک بدون تنش شد

که با پژوهش‌های دیگر (Cao *et al.*, 2020) بر روی صنوبر چینی و Arpanahi *et al.* (2020) در گیاه آویشن که بیان داشت در شرایط کم خشکسالی افزایش داشته اما با شدت‌گرفتن خشکسالی کاهش پیدا می‌کند هم‌خوانی دارد هرچند که (Boyer *et al.*, 2015) کاهش کلونیزه‌شدن ریشه گیاه توت‌فرنگی را در تنش خشکی گزارش کردند.

از سوی دیگر در هر دو خاک با تنش خشکی و بدون آن درصد میکوریزایی‌شدن ریشه در کاربرد بهساز بیوچار سیب‌زمینی بیش‌تر از گواه و دیگر بهسازها بود. از سوی دیگر Abeer Hashem *et al.* (2019) گزارش کردند که فراوانی وزیکول‌ها همبستگی بالایی با رشد میسلیوم‌ها دارند، آن‌ها دریافتند که فراوانی اسپورها در خاک با افزایش رشد میسلیوم در خاک افزایش یافت که با این پژوهش هم‌خوانی دارد. اگرچه در خاک با تنش فراوانی اسپورها کم‌تر بود اما در کاربرد بیوچار در خاک فراوانی اسپورها همانند درصد میکوریزی‌شدن ریشه در برابر دیگر بهسازها و گواه بیش‌ترین بود. اگرچه وابستگی میان بیوچار و کلونیزاسیون ریشه هنوز به‌خوبی روشن نیست، اما گمان می‌رود که ساختار پر سوراخ بیوچار کمک به نگهداری هیف‌های این قارچ‌ها از جانداران دیگر می‌شود (Ortas, 2016). پژوهش‌گران در پژوهشی گزارش کردند که افزودن بیوچار مایه افزایش فراوانی اسپورها در ریزوسفر کاکائو می‌شود (Aggangan *et al.*, 2019). Wathira *et al.* (2016) افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاه سویا را با کاربرد تیمار زغال زیستی گزارش کردند که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی داشت.

۳. ٤. پیامد کاربرد بیوچار بر فراوانی شمار اسپور گلومرومایکوتا در خاک

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که کاربرد تنش خشکی و ماده بهساز سیب‌زمینی بر فراوانی اسپور گلومرومایکوتای خاک در سطح آماری ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. اما برهم‌کنش این تیمارها بر فراوانی اسپور این قارچ‌های همزیست تفاوت معنی‌داری نداشت. از این‌رو آزمون میانگین‌ها تنها برای تیماری اصلی انجام شد. آزمون میانگین فراوانی اسپور گلومرومایکوتا در جدول (۷) نشان داد که تنش خشکی مایه کاهش فراوانی اسپور گلومرومایکوتا از ۲٦/۰٤ (اسپور در ۱۰ گرم خاک) بدون تنش به ۲٤/۳٦ (اسپور در ۱۰ گرم خاک) در خاک دارای تنش خشکی شد. افزایش چشم‌گیری در فراوانی اسپور گلومرومایکوتا در کاربرد بهسازها با گواه آزمایش دیده شد. همانند درصد میکوریزایی‌شدن ریشه بیش‌ترین فراوانی اسپور در تیمار بیوچار بهساز سیب‌زمینی (۳۱/۲۹ اسپور در ۱۰ گرم خاک) به‌دست آمد. پس از آن به‌ترتیب در کاربرد بهساز هیدروچار و مانده‌های خام سیب‌زمینی تا گواه آزمایش فراوانی اسپورها کاهش یافت.

جدول ۷. آزمون میانگین‌های فراوانی اسپور گلومرومایکوتا در تنش‌خشکی و بهسازهای سیب‌زمینی

تیمار		فراوانی اسپور گلومرومایکوتا (N/10g soil)
تنش	با تنش	۲٦/۰٤±۱۰/۲۹a
	بدون تنش	۲٤/۲٦±۱۰/۱۹b
بهساز	گواه	۲۰/۷۹±۱۰/۷۵d
	ماده خام	۲۳/۱۰±۹/۸۳c
	هیدروچار	۲۵/٦۲±۱۳/۰۱b
	بیوچار	۳۱/۲۹±۱۰/۱۱a

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳. ۵. پیامد کاربرد بیوچار بر اندازه گلومالین خاک

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری گلومالین نشان داد که پیامد تنش خشکی بر اندازه گلومالین ساده خاک تفاوت معنی‌داری نداشت اما پیامد

کاربرد بهسازها بر اندازه گلومالین ساده در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشتند. هم‌چنین پیامد برهم‌کنش تنش خشکی با بهسازها بر اندازه گلومالین ساده در خاک در سطح آماری ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری داشت.

آزمون میانگین‌ها در جدول (۸) نشان می‌دهد که تنش خشکی مایه کاهش گلومالین ساده خاک شده است و کاربرد ماده بهساز مایه افزایش اندازه گلومالین ساده در برابر گواه خودشان شده است. اندازه گلومالین ساده در خاک بدون تنش از ۱۱۷ (میکروگرم بر گرم) به ٦٩/٣٥ (میکروگرم بر گرم) در تنش خشکی کاهش پیدا کرده است. در میان بهسازهای سیب‌زمینی بیش‌ترین گلومالین ساده در خاک دارای تنش در کاربرد هیدروچار با اندازه ۳۵۹ (میکروگرم بر گرم) به‌دست آمد. پس از آن در خاک با تنش بیش‌ترین اندازه گلومالین ساده در کاربرد مانده‌های سیب‌زمینی خام و بیوچارشده اندازه‌گیری شد. در خاک بدون تنش تیمار بیوچار گلومالین ساده بالایی ۲۵۳ (میکروگرم بر گرم) داشت و پس از آن در تیمار هیدروچار این گلیکوپروتئین‌ها بالا بود.

جدول ۸. آزمون میانگین اندازه گلومالین ساده خاک (میکروگرم برگرم خاک) در برهم‌کنش تنش‌خشکی با بهسازهای سیب‌زمینی

تیمار		گلومالین ساده (micro g/g soil)
بدون تنش	گواه	۱۱۷±٦۱/٥d
	ماده خام	٦۲/۹۸±۳۹/٦e
	هیدروچار	۱۹۳±۸۳/٤bc
	بیوچار	۲٥۳±٤۰/۹b
با تنش	گواه	٦۹/۳٥±۷۷/٥e
	ماده خام	۱۷۹±۱۰٤/۰۰c
	هیدروچار	۳٥۹±۱۸/۳a
	بیوچار	۱٥٦±۱۰۲/۰۰cd

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری همه گلومالین نشان داد که پیامد تنش خشکی و کاربرد بهسازها بر اندازه گلومالین ساده خاک چشم‌گیر بود اما برهم‌کنش تنش خشکی با بهسازها بر همه گلومالین خاک تفاوت معنی‌داری نداشت.

آزمون میانگین همه گلومالین خاک نشان داد که تنش خشکی مایه کاهش آن از ۲٤۷ میکروگرم بر گرم در خاک بدون تنش به ۲٤۰ میکروگرم بر گرم در خاک با تنش شد. شگفت آن که کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی مایه کاهش همه گلومالین خاک شد که این کاهش در کاربرد مانده‌های خام بیش‌ترین و در کاربرد بیوچار آن کم‌ترین بود (جدول ۹).

جدول ۹. آزمون میانگین اندازه همه گلومالین خاک (میکروگرم بر گرم خاک) در تنش‌خشکی و کاربرد بهسازهای سیب‌زمینی

تیمار		همه گلومالین (micro g/g soil)
تنش	با تنش	۲٤۷±۹۱/۰۱a
	بدون تنش	۱٤۰±۹۰/۷٤b
بهساز	گواه	۲٤۷/۹۱a
	ماده خام	۱۲۹/٥۹b
	هیدروچار	۱٦۸/۸٥ab
	بیوچار	۲۱۸/۰٥ab

میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ساخت گلیکوپروتئین گلومالین با قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا وابسته به هیف‌های برون‌ریشه‌ای است (Bedini *et al.*, 2010). در پژوهشی گزارش شده است که اندازه گلومالین ساده در خاک تیمارشده با بیوچار در برابر خاک تیمارشده با کود شیمیایی NPK بیش‌تر است (De Figueiredo *et al.*, 2019). افزایش گلومالین در تیمار بیوچار وابسته به افزایش کربن آلی خاک است (Zhang *et al.*, 2017; Simansky, 2016). در این پژوهش هر چند درصد

میکوریزی‌شدن در خاک با تنش بیش‌تر بود، اما همه گلومالین خاک همانند رشد گیاه در خاک بدون تنش خشکی بیش‌تر بود. در برابر آن گلومالین ساده در خاک با تنش خشکی و در تیمار هیدروچار سیب‌زمینی بیش‌ترین بود که شاید وابسته به دگرگونی کم‌تر آمیزه‌های آلی هیدروچار در برابر بیوچار باشد و این نیاز به پژوهش ویژه دارد. جای شگفتی بود که گیاهان تیمارشده با بهسازهای سیب‌زمینی در هر دو خاک دارای تنش و بدون تنش گره‌های ریزوبیومی نداشته و همزیستی با ریزوبیوم‌ها نداشتند. این یافته شاید به ترکیب‌های نیتروژنی فراوان‌تر در سیب‌زمینی وابسته باشد. از سوی دیگر گیاهان خانواده سیب‌زمینی (سولاناسه) فیتوالکسین‌هایی به نام‌های سولانین و چاکونین دارند که از گروه گلیکوآلکالوییدهای استرویدی هستند. این مواد ویژگی‌های قارچ‌کشی و آفت‌کشی داشته که برای نگهداری گیاه در برابر قارچ‌ها بسیار کارا هستند. شاید وجود چنین آمیزه‌های در مانده‌های سیب‌زمینی از گره‌زایی ریزوبیوم جلوگیری کرده باشد.

٤. نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که تنش خشکی مایه کاهش چشم‌گیر وزن خشک اندام هوایی و هم‌چنین ریشه گیاه لوبیا می‌شود. کاربرد بهسازها به‌ویژه بهسازهای خام و هیدروچار گرفته‌شده از اندام هوایی گیاه سیب‌زمینی تنها در خاک بدون تنش توانست رشد گیاه را بهبود بخشد. این بهسازها در خاک با تنش پیامد سودمندی بر زیست‌توده گیاه نداشتند. اندازه کلروفیل برگ هنگام تنش خشکی کاهش پیدا کرد و این کاهش در کاربرد بهسازها به‌ویژه بیوچار سیب‌زمینی بیش‌تر بود. شمار اسپور گلومرومایکوتا و اندازه گلومالین ساده و همه گلومالین با کاربرد تنش کاهش پیدا کردند اما درصد کلونیزاسیون ریشه افزایش یافت. کاربرد بهسازها به‌ویژه بیوچار توانست مایه افزایش چشم‌گیر درصد کلونیزاسیون ریشه، اسپور گلومرومایکوتا و همه گلومالین شود و بیش‌ترین تأثیر بر اندازه گلومالین ساده را هیدروچار مانده‌های گیاهی نشان دادند. با نگاه به همه ویژگی‌های بررسی‌شده می‌توان این‌گونه گزارش کرد که کاربرد زغال گرمایی سیب‌زمینی پیامد سودمندی بر همزیستی گیاه لوبیا با قارچ‌های میکوریز دارد ولی بر رشد گیاه و سبزینه آن ندارد و رشد گیاه لوبیا و سبزینه آن در کاربرد مانده‌های سیب‌زمینی بیش‌تر است. درصد کلونیزاسیون‌ریشه، اسپور گلومرومایکوتا و همه گلومالین شود و بیش‌ترین تأثیر بر اندازه گلومالین ساده را هیدروچار مانده‌های گیاهی نشان دادند.

٥. تشکر و قدردانی

از زحمات استاد گرانقدر و هم‌چنین دانشگاه بوعلی سینا جهت مشاوره‌ها و فراهم‌آوردن شرایط لازم برای اجرای پژوهش لازم، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-Rehman, M., & Qayyum, M. F. (2018). Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. *Ecotoxicology and environmental safety*, *148*, 825-833.

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Rehman, M.Z., Qayyum, M.F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J., Ok, Y.S., 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicol. Environ. Saf. 140*, 37-47.

Aggangan, N. S., Cortes, A. D., & Reaño, C. E. (2019). Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *22*, 101347.

Akdeniz, N. 2019. A systematic review of biochar use in animal waste composting. *Waste Management 88*, 291-300.

Akhtar, S. S., Andersen, M. N., & Liu, F. (2015). Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, *158*, 61-68.

Amalfitano, C., Agrelli, D., Borrelli, C., Cuciniello, A., Morano, G., & Caruso, G. (2018). Production system effects on growth, pod yield and seed quality of organic faba bean in southern Italy. *Folia Horticulturae*, *30*(2), 375-385.

Amalfitano, C., Gomez, L. D., Frendo, P., De Pascale, S., Pepe, O., Simister, R., & Caruso, G. (2018). Plant–Rhizobium symbiosis, seed nutraceuticals, and waste quality for energy production of Vicia faba L. as affected by crop management. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *5*(1), 1-13.

Arpanahi, A. A., Feizian, M., Mehdipourian, G., & Khojasteh, D.N. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of Thymus daenensis Celak and Thymus vulgaris L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, *100*, 103217.

Bashir, A., Rizwan, M., ur Rehman, M. Z., Zubair, M., Riaz, M., Qayyum, M. F., & Ali, S. (2020). Application of co-composted farm manure and biochar increased the wheat growth and decreased cadmium accumulation in plants under different water regimes. *Chemosphere*, *246*, 125809.

Bedini, S., Turrini, A., Rigo, C., Argese, E., & Giovannetti, M. (2010). Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*(5), 758-765.

Boyer, L. R., Brain, P., Xu, X. M., & Jeffries, P. (2015). Inoculation of drought-stressed strawberry with a mixed inoculum of two arbuscular mycorrhizal fungi: effects on population dynamics of fungal species in roots and consequential plant tolerance to water deficiency. *Mycorrhiza*, *25*(3), 215-227.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.

Cao, J., Xie, L., Zheng, Y., & Yang, Y. (2020). Drought intensifies the effects of warming on root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal community in subtropical Chinese fir plantation. *Forest Ecology and Management*, *464*, 118078.

Dalpé, Y. (1993). Vesicular-arbuscular mycorrhiza. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, 287-301.

Davari, S.A., Gokhale, N.B., Palsande, V.N., Kasture, M.C., 2018. Wal (*Lablab purpureus* L.): an unexploited potential food legumes. Int. J. Chem Stud. 6, 946–949.

De Figueiredo, C. C., Farias, W. M., Coser, T. R., de Paula, A. M., da Silva, M. R. S., & Paz-Ferreiro, J. (2019). Sewage sludge biochar alters root colonization of mycorrhizal fungi in a soil cultivated with corn. *European Journal of Soil Biology*, *93*, 103092.

De Silva, N.D.G., Cholewa, E., Ryser, P., 2012. Effects of combined drought and heavy metal stresses on xylem structure and hydraulic conductivity in red maple (*Acer rubru* L.). *J. Exp. Bot*. *63*(16), 5957-5966.

Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G., Zhou, L., 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils: a eeview. *Pedosphere*. *27*(4), 645-661.

El-Naggar, A., Soo, S., Rinklebe, J., Farooq, M., & Song, H. (2019). Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. *Geoderma 337*, 536-554.

Gavili, E., Moosavi, A. A., & Haghighi, A. A. K. (2019). Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean?. Industrial Crops and Products, *128*, 445-454.

Ghobadi, M., Taherabadi, S., Ghobadi, M. E., Mohammadi, G. R., & Jalali-Honarmand, S. (2013). Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, *50*, 29-38.

Godlewska, P., Schmidt, H.P., Ok, Y.S., Oleszczuk, P. (2017). Biochar for composting improvement and contaminants reduction: A review. *Bioresource Technology*, *246*, 193-202.

Gunes, A., Inal, A., Taskin, M. B., Sahin, O., Kaya, E. C., & Atakol, A. R. D. A. (2014). Effect of phosphorus- enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil use and management*, *30*(2), 182-188.

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. B. F., Singh, G., ... & Abd_Allah, E. F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. *Saudi journal of biological sciences*, *26*(3), 614-624.

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., & Verheijen, F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.*, *12*(5), 053001.

Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., & Xing, B. (2020). The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. *Journal of experimental botany*, *71*(2), 520-542.

Karasu, A., & Oz, M. (2010). A study on coefficient analysis and association between agronomical characters in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *16*(2), 203-211.

Kruse, A., Funke, A., & Titirici, M. M. (2013). Hydrothermal conversion of biomass to fuels and energetic materials. *Current opinion in chemical biology*, *17* (3), 515-521.

Li, Q., Wang, M., Fu, Q., Li, T., Liu, D., Hou, R., & Ji, Y. (2020). Short-term influence of biochar on soil temperature, liquid moisture content and soybean growth in a seasonal frozen soil area. *Journal of Environmental Management*, 266, 110609.

Luna, L., Miralles, I., Andrenelli, M. C., Gispert, M., Pellegrini, S., Vignozzi, N., & Solé-Benet, A. (2016). Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region. *Catena*, *143*, 256-264.

Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C., & Freitas, H. (2016). Inoculation of Brassica oxyrrhina with plant growth promoting bacteria for the improvement of heavy metal phytoremediation under drought conditions. *Journal of hazardous materials*, *320*, 36-44.

Moosavi, A. A., Mansouri, S., & Zahedifar, M. (2015). Effect of soil water stress and nickel application on micronutrient status of canola grown on two calcareous soils. *Plant Production Science*, *18*(3), 377-387.

Moosavi, A. A., Mansouri, S., Zahedifar, M., & Sadikhani, M. R. (2014). Effect of water stress and nickel application on yield components and agronomic characteristics of canola grown on two calcareous soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(12), 1747-1764.

Nielsen, S., Joseph, S., Ye, J., Chia, C., Munroe, P., van Zwieten, L., & Thomas, T. (2018). Crop-season and residual effects of sequentially applied mineral enhanced biochar and N fertiliser on crop yield, soil chemistry and microbial communities. *Agriculture, ecosystems & environment*, *255*, 52-61.

Novak, J. M., Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Ro, K. S., Watts, D. W., Glaz, B., & Hunt, P. G. (2014). Effects of biochars and hydrochars produced from lignocellulosic and animal manure on fertility of a Mollisol and Entisol. *Soil use and management*, *30*(2), 175-181.

Ortas, I. (2016). Role of mycorrhizae and biochar on plant growth and soil quality. Biochar, a regional supply chain approach in view of climate change mitigation. Cambridge Universitey Press, Cambridge. UK, 398, 424.

Paetsch, L., Mueller, C.W., Kögel-Knabner, I., von Lützow, M., Girardin, C., & Rumpel, C. (2018). Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Sci. Rep*., *8*(1), 1- 11. https://doi.org/ 10.1038/s41598-018-25039-x.

Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, *55*(1), 158-161.

Purakayastha, T.J., Bera, T., Bhaduri, D., Sarkar, B., Mandal, S., Wade, P., Kumari, S., Biswas, S., Menon, M., Pathak, H., & Tsang, D.C.W. (2019). A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere*, *227*, 345-365.

Rady, M. M., El-Azeem, M. M. A., El-Mageed, T. A. A., & Abdelhamid, M. T. (2018). Integrative potassium humate and biochar application reduces salinity effects and contaminants, and ımproves growth and yield of eggplant grown under saline conditions. *International Journal for Empirical Education and Research*, *1*(2), 37-36.

Razaq, M., Salahuddin, Shen, H.L., Sher, H., & Zhang, P. (2017). Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of Acer mono. *Sci. Rep*., *7*(1), 1-11.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Rehman, M.Z., Qayyum, M.F., & Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res*., *22*(20), 15416-15431.

Salam, A., Bashir, S., Khan, I., & Hu, H. (2019). Two years impacts of rapeseed residue and rice straw biochar on Pb and Cu immobilization and revegetation of naturally co. contaminated soil. Appl. *Geochem*, *105*, 97-104.

Schmidt, H.P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W.H., Mackie, K.A., & Abiven, S. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. Agric. *Ecosyst. Environ.*, *191*, 117-123.

Shamim, M.I. A., Dijkstra, F.A., Abuyusof, M., & Hossin, A.I. (2015). Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. *Pedosphere*, *25*(5), 713-719.

Strain, H. H., & Svec, W. A. (1966). Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. *In The chlorophylls* (pp. 21-66). Academic Press.

Sylvia, D. M. (1994). Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Methods of Soil Analysis*:* Part 2—Microbiological and Biochemical Properties, (methodsofsoilan2), 351-378.

Tan, Z., Lin, C.S.K., Ji, X., & Rainey, T.J. (2017). Returning biochar to fields: a review. Appl. *Soil Ecol*. 116, 1-11.

Vico, A., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Agulló, E., Marhuenda-Egea, F. C., Sáez, J. A., & Moral, R. (2018). Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning biomass by co-composting with urban and agri-food sludge. *Journal of environmental management*, *226*, 408-415.

Wathira, N. L., Wachira, P., & Okoth, S. (2016). Enhancement of colonisation of soybean roots by arbuscular mycorrhizal fungi using vermicompost and biochar. Agriculture, Forestry and Fisheries, *5* (3), 71-78.

Weber, K., & Quicker, P. (2018). *Properties of biochar*. *Fuel*, *217*, 240-261.

Wright, S. F., & Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil science*, *161*(9), 575-586.

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil science and plant nutrition*, *52*(4), 489-495.

Zeeshan, M., Ahmad, W., Hussain, F., Ahamd, W., Numan, M., Shah, M., & Ahmad, I. (2020). Phytostabalization of the heavy metals in the soil with biochar applications, the impact on chlorophyll, carotene, soil fertility and tomato crop yield. *Journal of Cleaner Production*, *255*, 120318.

Zhang, J., Tang, X., Zhong, S., Yin, G., Gao, Y., & He, X. (2017). Recalcitrant carbon components in glomalin-related soil protein facilitate soil organic carbon preservation in tropical forests. *Scientific reports*, *7*(1), 1-9.