

Effects of oak biochar on some functional characteristics, soil fertility and essential oil yield of *Achillea millefolium* L.

Hamed Joneidi^{1*}, Roya Shadi² and Shirko Ebrahimi Mohammadi³

1*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural resources,

University of Tehran, Karaj, Iran, Email: hjoneidi@ut.ac.ir

2- MSc in Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 02/23/2025

Revised: 04/20/2025

Accepted: 07/28/2025

Published: 08/28/2025

Abstract

Background

Several studies have demonstrated the significant effect of biochar on enhancing the biological and functional characteristics of plants. This study investigated the effects of oak biochar on certain functional traits and the efficiency of *Achillea millefolium* essential oil, as well as the physicochemical properties of soil.

Materials and Methods

Oak biochar produced via pyrolysis at 300°C and 500°C (B300 and B500, respectively) was applied in the treatment groups. The experiment included 45 pots (2 kg each): 15 control pots, 15 pots with 300°C oak biochar (B300), and 15 pots with 500°C oak biochar (B500). The biochar-to-soil ratio was 5% for both treatments. Thinning and weeding were carried out until the flowering stage. At flowering, total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, dry matter of aerial parts, dry matter of underground parts, and essential oil percentage were measured. Soil pH, electrical conductivity (EC), organic carbon, and total nitrogen were also determined. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare soil and plant parameters among treatments, and Duncan's multiple range test was applied for mean comparisons.

Results

The addition of biochar significantly increased chlorophyll a (19%), total chlorophyll (17%), essential oil yield (36%), dry matter of aerial parts (25%), and dry matter of underground parts (87%) compared to the control. Biochar also significantly enhanced soil organic carbon (88%) and total nitrogen (27%). No significant differences were observed between B300 and B500 for any plant or soil parameter.

Conclusion

Overall, biochar application improved the biological performance of yarrow by enhancing soil chemical properties, particularly organic carbon and nitrogen. Increased chlorophyll content likely contributed to higher photosynthesis and essential oil yield. Both B300 and B500 biochars produced similar effects on plant and soil parameters, indicating no advantage to increasing

pyrolysis temperature above 300°C. These results suggest that oak biochar is an effective approach for increasing plant yield, essential oil production, and improving soil chemical quality, and that biochar produced at 300°C is sufficient for achieving these benefits.

Keywords: Aerial part biomass, biochar, chlorophyll, medicinal plants, soil properties, volatile.

اثر زغال زیستی بلوط بر برخی ویژگی‌های عملکردی، حاصلخیزی خاک و بازده اسانس گیاه دارویی بومادران معمولی (*Achillea millefolium* L.)

حامد جنیدی^{۱*}، رویا شادی^۲ و شیرکو ابراهیمی محمدی^۳

۱- نویسنده مسئول، دانشیار گروه احیای مناطق و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: hjoneidi@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶

چکیده

سابقه و هدف

تحقیقات متعددی بیانگر اثر معنی‌دار زغال زیستی بر بهبود ویژگی‌های زیستی و عملکردی گیاهان است. در این پژوهش اثر زغال زیستی بلوط بر برخی ویژگی‌های عملکردی و بازده اسانس بومادران (*Achillea millefolium* L.) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعه از زغال زیستی بلوط ساخته شده در طی فرایند پیرولیز در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ (به ترتیب B300 و B500) درجه سانتی‌گراد در گروه‌های تیمار استفاده گردید. تیمارهای مورد مطالعه در قالب ۴۵ گلدان ۲ کیلوگرمی شامل ۱۵ گلدان شاهد، ۱۵ گلدان دارای زغال زیستی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (B300) بلوط و ۱۵ گلدان دارای زغال زیستی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد (B500) بود. نسبت پودر زغال به خاک در این آزمایش برای هر دو تیمار ۵ درصد در نظر گرفته شد. عملیات تنک کردن و وجین علف‌های هرز تا مرحله نزدیک به گلدهی ادامه یافت. پس از رسیدن به مرحله گلدهی مقادیر کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک اندام زمینی و درصد اسانس در گروه‌های مختلف شاهد و تیمار اندازه‌گیری شد. همچنین خصوصیات pH خاک، EC خاک، کربن آلی و ازت کل خاک در تیمارها اندازه‌گیری شد. به منظور مقایسه پارامترهای مختلف خاک و گیاه در بین تیمارها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه مقادیر میانگین بین تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد افزودن زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل a (به میزان ۱۹ درصد)، کلروفیل کل (به میزان ۱۷ درصد) و بازدهی اسانس (به میزان ۳۶ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۲۵ درصد) و وزن خشک ریشه (به میزان ۸۷ درصد) در گروه‌های تیمار نسبت به شاهد شد. همچنین افزودن زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی (به میزان ۸۸ درصد) و ازت خاک (به میزان ۲۷ درصد) در گروه‌های تیمار زغال زیستی نسبت به شاهد شد. در هیچ‌یک از پارامترهای گیاه و خاک، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای B300 و B500 مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن زغال زیستی به خاک سبب ارتقای عملکرد زیستی بومادران به دلیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک (کربن آلی و ازت) شده است. همچنین افزایش مقادیر کلروفیل و فتوسنتز باعث افزایش اسانس می‌شود. نکته حائز اهمیت آن است که در کلیه موارد، بکارگیری زغال‌های زیستی ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، اثر یکسانی در تغییر پارامترهای کمی و کیفی گیاه و خاک داشته است. به عبارت دیگر، تفاوت معنی‌داری بین دو نوع زغال زیستی تهیه شده در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشده است. با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد زغال زیستی به عنوان

روشی مناسب برای افزایش عملکرد و تولید اسانس و بهبود کیفیت شیمیایی خاک است. این پژوهش نشان می‌دهد که فرایند تولید زغال زیستی بلوط در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در بهبود عملکرد گیاه و افزایش بازدهی اسانس مؤثر بوده و نیازی به افزایش دمای بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید زغال زیستی نیست.

واژه‌های کلیدی: اندام هوایی، خصوصیات خاک، روغن‌های فرار، زغال زیستی، کلروفیل، گیاهان دارویی.

مقدمه

ایران از نظر تنوع زیستی جزو کشورهای برتر دنیا در زمینه تولیدات گیاهی محسوب می‌شود. فلور غنی ایران بیش از ۷۵۰۰ گونه گیاهی را دربر می‌گیرد که این موضوع به عنوان یک مزیت در جهان است. در این میان، حدود ۲۳۰۰ گونه از ۷۵۰۰ گونه گیاهی جزء گیاهان دارویی طبقه بندی می‌شوند. این موضوع نشان می‌دهد که کشور ایران از ظرفیت مناسبی در زمینه تولید گیاهان دارویی برخوردار است (Nadjafi & Schulz, 2023). گیاه دارویی به صورت «هر نوع گیاهی که یک یا چند اندام آن حاوی مواد قابل استفاده برای اهداف درمانی و یا پیش‌ساز برای ساخت داروهای سودمند» باشد، تعریف می‌گردد (Nasim et al., 2022). روش‌های مختلفی برای بهبود کیفیت خاک و افزایش تولید و بهره‌وری گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از روش‌های بهبود کیفیت خاک، استفاده از زغال زیستی می‌باشد. زغال زیستی یک ماده جامد کربنی پایدار تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و حیوانی می‌باشد که سوختن آن در حضور اکسیژن کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود. زغال زیستی به دلیل داشتن ساختار متخلخل و توانایی در تثبیت کربن و فلزات سبب بهبود شرایط خاک می‌گردد (Yu et al., 2019). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از زغال زیستی سبب حفاظت مواد آلی خاک، افزایش تولید محصول و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. استفاده از زغال زیستی باعث بهبود جوانه‌زنی دانه‌ها و افزایش دسترسی مواد مغذی قابل جذب برای گیاهان می‌شود. همچنین زغال زیستی باعث تقویت گیاه در مقابل بیماری‌ها، کاهش جذب فلزات سنگین و تقویت گیاه در مقابل استرس‌های محیطی می‌گردد (Ma et al., 2023). تنش‌های زیستی باعث عدم تعادل در

شرایط محیطی می‌شوند و در نهایت اثر منفی بر رشد و تولید گیاهان دارند. استفاده از زغال زیستی می‌تواند به‌طور چشمگیری اثرهای منفی این تنش‌ها را کاهش دهد. برای نمونه، مشاهده شده که نانوکمپوزیت‌های بر پایه زغال زیستی می‌توانند اثرهای منفی تنش شوری را در بذره‌های تحت کشت شوید (*Anethum graveolens* L) کاهش دهند. تحقیقات متعددی مبین اثر معنی‌دار زغال زیستی بر بهبود ویژگی‌های زیستی و عملکردی گیاهان دارویی و زراعی است. اثر سطوح مختلف زغال زیستی بر افزایش بازدهی اسانس ریحان (Najafian and Zahedifar, 2018)، اثربخشی مثبت زغال زیستی کود مرغی بر وزن خشک و میزان کلروفیل ذرت (Kazemi et al., 2019)، تأثیر معنی‌دار زغال و کود زیستی بر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و وزن تر برگ و ساقه نعنای فلفلی (Zaefarian et al., 2019)، ارتقای خصوصیات رشد، مورفولوژی و جوانه‌زنی ماشک و اسپرس تحت تأثیر سطوح مختلف زغال زیستی چوب بلوط (Fathi, 2021)، اثر زغال ضایعات شاخ و برگ پسته بر ارتفاع نهال و کلروفیل برگ (Arab et al., 2020)، افزایش درصد ماده خشک، جذب مواد مغذی، غلظت کلروفیل و اسانس رزماری بر اثر کاربرد زغال زیستی سرخس آذولا (Kazemi et al., 2019)، اثرهای زغال زیستی بر بهبود رشد و عملکرد گشنیز (Mokarram et al., 2024)، اثرهای زغال زیستی مرزه خوزستانی بر ویژگی‌های عملکردی و اسانس نعنای فلفلی (Mumivand et al., 2023) و کاربرد طولانی‌مدت زغال زیستی در افزایش رشد و بهبود خصوصیات فیزیولوژیک ذرت (Cong et al., 2023) نمونه‌هایی از این دست هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد ماده اولیه زغال زیستی، دمای تهیه (Yuan et al., 2018) و نوع خاک مورد استفاده نقش زیادی در تأثیرگذاری زغال زیستی

تولید شده با دستگاه آسیاب برقی چکشی و علوفه خردکن مدل ML۴۱۳ خرد شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری در کیسه‌های پلاستیکی تیره رنگ ریخته شده و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. کوره گرم‌ماکافت مورد استفاده برای تولید زغال زیستی به شکل استوانه و جنس آن از ورق آتشخوار فولادی است. برای تنظیم دقیق درجه حرارت داخل کوره و اطمینان از رسیدن دما به ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد از سنسور دمای مدل S4TC محصول کشور کره جنوبی استفاده شد.

برای آماده‌سازی بستر کاشت بذره‌های گیاه بومادران، ۹۰ کیلوگرم خاک با بافت لومی که از الک شماره ۲ (میلی‌متر) عبور داده شده بود برای مرحله کشت در نظر گرفته شد. خاک آماده شده به ۴۵ گلدان شامل ۱۵ گلدان شاهد، ۱۵ گلدان تیمار دارای زغال زیستی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (B300) و ۱۵ گلدان تیمار دارای زغال زیستی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد (B500) تقسیم شد. وزن خاک نسبت پودر زغال به خاک در این آزمایش برای هر دو تیمار یکسان و برابر ۵ درصد در نظر گرفته شد. به این صورت که در هریک از تیمارهای B300 و B500، مقدار ۱۰۰ گرم پودر زغال با ۲ کیلوگرم خاک مخلوط و این کار برای هر ۱۵ گلدان در هر دو تیمار انجام شد. در ۱۵ گلدان شاهد هیچ مقداری از زغال زیستی مورد استفاده قرار نگرفت. به منظور تلفیق بهتر زغال زیستی و خاک و افزایش اثربخشی زغال بر خاک، آبیاری و زیرورو کردن خاک در هر دو تیمار به صورت یکسان (۱۰ بار به فواصل زمانی ۱۰ روز یکبار) به مدت ۱۰۰ روز ادامه داشت. بعد از آن، عملیات بذرکاری شروع شد و بذره‌های بومادران بین ۴۵ گلدان به صورت مساوی تقسیم و در عمق یک سانتیمتری کشت گردید. پس از کشت، عملیات منظم آبیاری به وسیله اسپری انجام و روی هر گلدان نایلون کشیده شد تا رطوبت خاک حفظ شود. این کار برای همه گلدان‌ها تا ظهور گیاهچه‌ها انجام شد (بعد از ۱۰ تا ۱۴ روز). با شروع جوانه‌زنی بذرها، نایلون از روی گلدان‌ها برداشته شد. سپس گلدان‌ها به آزمایشگاهی دیگر دارای قفسه‌های نوری برای تکمیل فرایند رشد انتقال داده شد. آبیاری منظم گلدان‌ها ۳

دارند (Hasanpour et al., 2022). همچنین میزان مصرف زغال زیستی در رشد و عملکرد گیاه مؤثر است، به طوری که گزارش‌هایی مبنی بر عدم تأثیر و گاهی تأثیر منفی کاربرد مقادیر کم و یا بیش از حد زغال زیستی بر ویژگی‌های عملکردی و زیستی گونه‌های گیاهی وجود دارد. زغال زیستی در مقادیر مناسب می‌تواند باعث بهبود عملکرد رشد و فتوسنتز شود (Barahooi et al., 2023). بومادران معمولی با نام علمی *Achillea millefolium* L. از خانواده کاسنی، یکی از گیاهان اسانس دار دارویی است که به طور وسیعی در ایران و جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dalili et al., 2022). ترکیبات اسانس این گیاه دارای خواص ضد میکروبی، ضد التهابی و آنتی اکسیدانی می‌باشد. با توجه به اثرهای زغال زیستی بر ویژگی‌های زیستی و عملکردی گیاهان و نظر به ارزش و اهمیت دارویی گیاه بومادران، مطالعه‌ای در مورد تأثیر زغال زیستی بر ویژگی‌های عملکردی شامل رشد، تولید اندامهای هوایی، کلروفیل برگ و اسانس گونه بومادران انجام نشده است. از این رو، در این پژوهش تأثیر زغال زیستی حاصل از سرشاخه‌های بلوط (با دو درجه حرارت مختلف) بر ویژگی‌های عملکردی شامل میزان رشد، بیوماس اندامهای هوایی، کلروفیل برگ و میزان اسانس و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی زغال و کشت

این پژوهش طی سالهای ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۳ در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان انجام شد. در فرایند تهیه بیوپار، از بقایای چوبی خشک شده و ریزشی حاصل از سرشاخه‌های افتاده درختان به عنوان زیست توده اولیه استفاده شد؛ بنابراین، هیچ گونه برداشت زنده یا قطع اکولوژیکی درخت از جنگل انجام نشده و فرایند تهیه بیوپار کاملاً مبتنی بر جمع‌آوری پسماندهای طبیعی جنگلی بوده است. ابتدا سرشاخه‌های بلوط با استفاده از کوره گرم‌ماکافت در دو دمای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد طی فرایند پیرولیز آرام در غیاب اکسیژن سوزانده شد. پس از سرد شدن، زغال زیستی

سطل پر از آب قرار داده شد تا خاک از گیاه جدا شود. سپس گیاه همراه با ریشه از آب بیرون کشیده شده و شسته شد تا گیاه تمیز و بدون خاک شود. این کار برای همه گلدان‌ها انجام شد. در ادامه ریشه از اندام هوایی جدا شده و داخل پاکت کاغذی تا زمان خشک شدن قرار داده شد و پس از ۱۰ روز وزن‌کشی انجام شد. یادآوری می‌شود برای اطمینان از خشک شدن کامل نمونه‌ها، وزن آنها به صورت متوالی در دو روز متوالی اندازه‌گیری شد و زمانی که تغییر وزنی مشاهده نشد (وزن پایدار شد)، نمونه به عنوان خشک شده در نظر گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری فاکتورهای شیمیایی خاک، پس از تهیه عصاره اشباع، اسیدیته و هدایت الکتریکی توسط دستگاه pH متر و دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک به روش والکلی-بلک (اکسیداسیون با دی‌کرومات پتاسیم و اندازه‌گیری کروم کاهش‌یافته) و ازت کل خاک به روش کج‌لدال (هضم اسیدی، تقطیر و تیتراژ آمونیاک) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری بازده اسانس در هر تیمار، ابتدا اندام هوایی (سرشاخه‌های نزدیک به گلدهی) هر ۵ گلدان از هر تیمار با هم ادغام شده و به این ترتیب در هر تیمار ۳ تکرار مورد اسانس‌گیری قرار گرفت. اسانس‌گیری از هر نمونه به روش تقطیر با آب و با استفاده از ۵۰ گرم از اندام هوایی خشک گیاه در دستگاه کلونجر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام شد. پس از جمع‌آوری، اسانس به وسیله سرنگ جدا شده و وزن آن با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. بازده اسانس برحسب گرم اسانس بر ۱۰۰ گرم وزن خشک گیاه محاسبه شد. این روش با استناد به شیوه‌نامه‌های استاندارد ارائه شده توسط European Pharmacopoeia (۲۰۰۸) و نیز مطالعات مشابه در گونه‌های دارویی (Zheljazkov et al., 2006) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کروסקال بررسی شد. در ادامه، به منظور مقایسه پارامترهای مختلف خاک و گیاه در بین تیمارها، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه مقادیر میانگین بین تیمارها از آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار spss نسخه ۲۶ استفاده شد.

روز یکبار و هر بار به میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر تا زمان رشد کامل و رسیدن به مرحله گلدهی گیاه انجام شد. آبیاری گلدان‌ها به صورت منظم هر سه روز یکبار و به میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر انجام شد. حجم آب انتخاب شده به گونه‌ای بود که از ایجاد تنش خشکی یا اشباع بیش از حد خاک جلوگیری شده و رطوبت نسبی مطلوب برای رشد بهینه گیاه حفظ شود (Abbasnasab et al., 2021). یادآوری می‌شود که گلدان‌ها به صورت تصادفی در طبقات قفسه نوری قرار داده شدند. هر قفسه نوری ۳ طبقه و دارای نوردهی مصنوعی فلورسنت سفید سرد با شدت ۱۵۰۰ لوکس به صورت ۱۸ ساعت روشنایی و ۶ ساعت تاریکی بود (شکل ۱). با توجه به نورپسندی بومادران و مطالعات پیشین، دوره نوری طولانی‌تر نسبت به استاندارد (۸/۱۶) می‌تواند باعث بهبود رشد رویشی و تجمع زیست‌توده در این گونه شود (Dudai, 2006; Zheljzakov et al., 2001).

روش‌های آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b در برگ هر تیمار، ابتدا ۱۰ گرم از برگ تازه بومادران از هر گلدان جمع‌آوری و بلافاصله با ۱۶ میلی‌لیتر استون و ۴ میلی‌لیتر آب در هاون ساییده و محلول حاصل پس از صاف شدن، توسط سانتریفوژ در دور ۲۷۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه و در حرارت ۲۵ باقیمانده گیاهی تفکیک گردید. سپس میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر با استفاده از سیستم اسپکتروفتومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b با استفاده از فرمول‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Lichtenthaler, 1983).

$$\text{Chl a} = (12/25 \times A_{663} - 2/79 \times A_{646}) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{Chl b} = (21/21 \times A_{646} - 5/1 \times A_{663}) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، Chla و Chlb به ترتیب بیانگر کلروفیل a و b است.

به منظور تعیین ویژگی‌های عملکردی، ابتدا پایه‌های گیاهی در هر تیمار همراه با خاک کامل از گلدان خارج و در



شکل ۱- مراحل کشت و برداشت *A. millefolium* در تیمارهای مختلف زغال زیستی و شاهد

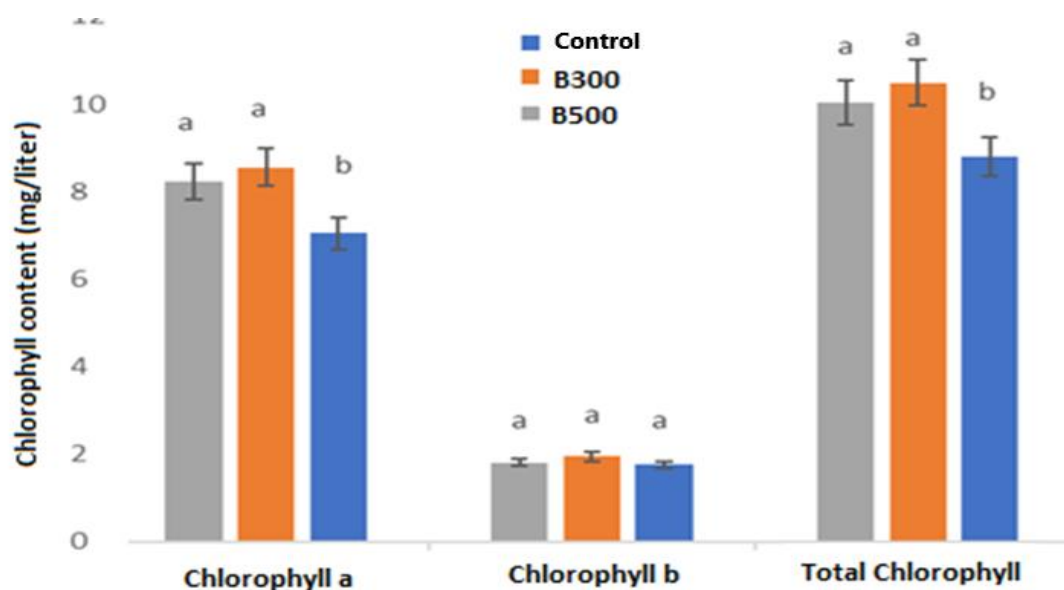
Figure 1- Cultivation and harvesting stages of *A. millefolium* in different biochar treatments and control

نتایج

شاخص‌های مرتبط با گیاه کلروفیل برگ

نتایج مقایسه میانگین مقادیر کلروفیل a بومادران در تیمارهای مختلف حکایت از افزایش معنی‌دار میانگین کلروفیل a در گیاهان رشد کرده در خاک حاوی زغال زیستی تولید شده در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه نسبت به تیمار شاهد دارد. میانگین کلروفیل a در گیاهان تیمارهای B500 و B300 به ترتیب ۸/۲۳ و ۸/۵۵ میلی‌گرم در لیتر و میانگین کلروفیل a در گروه شاهد ۷/۰۴ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج

نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین کلروفیل a تیمارهای B500 و B300 وجود ندارد (شکل ۲). براساس نتایج بدست آمده مقادیر میانگین کلروفیل b تیمارهای B500، B300 و شاهد به ترتیب ۱/۸۱، ۱/۹۴ و ۱/۷۵ میلی‌گرم در لیتر فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بودند. مقادیر میانگین کلروفیل کل تیمارهای B500 و B300 به ترتیب با ۱۰/۰۴ و ۱۰/۴۹ میلی‌گرم در لیتر دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد (۸/۷۹ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد (شکل ۲).



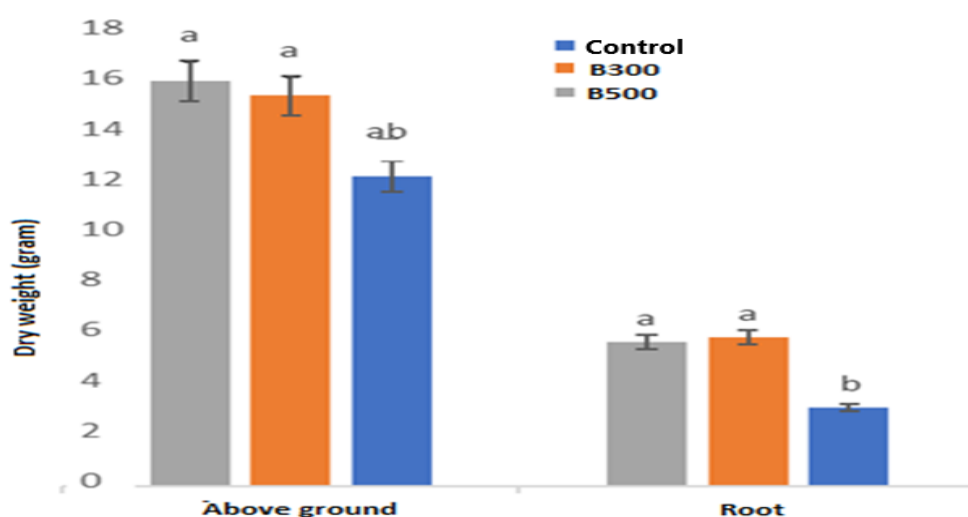
شکل ۲- مقایسه مقادیر میانگین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل بومادران در تیمارهای مختلف زغال زیستی و شاهد

Figure 2 - Comparison of the average values of chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll in *A. millefolium* in different levels of biochar and control treatment

با مقدار ۱۵/۵ گرم و B500 با ۱۶/۱ دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با تیمار شاهد (۱۲/۳ گرم) می‌باشد. از نظر وزن خشک اندام هوایی بین تیمار B300 و B500 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

وزن خشک اندام هوایی

نتیجه مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تیمارهای مختلف حکایت از وجود اختلاف معنی‌دار برخی از تیمارها با یکدیگر دارد. میانگین وزن خشک اندام هوایی تیمار B300



شکل ۳- مقایسه مقادیر میانگین بیومس اندام هوایی و ریشه بومادران در تیمارهای مختلف زغال زیستی و شاهد

Figure 3 - Comparison of average dry matter values of aerial part and underground dry matter of *A. millefolium* in different levels of biochar and control treatment

وزن خشک اندام زیرزمینی

نتیجه مقایسه میانگین وزن خشک اندام زمینی تیمارهای مختلف نشانگر وجود اختلاف معنی دار با شاهد در سطح یک درصد می باشد. میانگین وزن خشک اندام زمینی تیمارهای B500 و B300 به ترتیب با ۵/۷ و ۵/۹ گرم دارای اختلاف معنی دار با شاهد (۳/۱ گرم) می باشد. از نظر میانگین وزن خشک اندام زمینی بین دو تیمار B500 و B300 تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳).

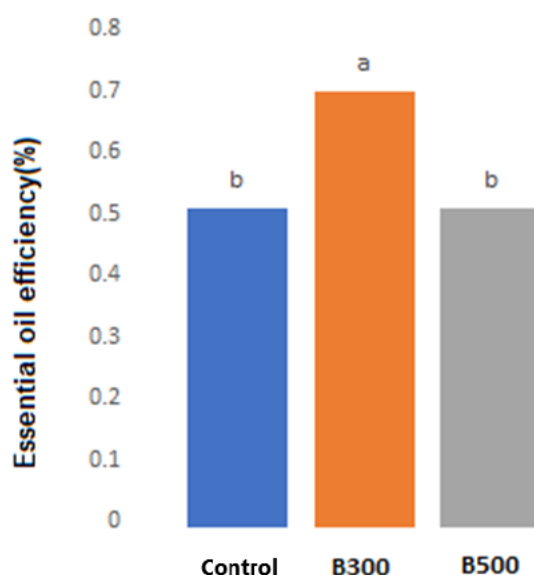
بازده اسانس

نتیجه مقایسه میانگین مقادیر اسانس تیمارهای مختلف حکایت از وجود اختلاف معنی دار تیمار B300 با تیمارهای

B500 و شاهد در سطح یک درصد دارد. میزان اسانس استحصال شده از گیاه بومادران در تیمار شاهد ۰/۵۲ درصد بود، این مقدار در تیمار B300 برابر ۰/۷۱ بدست آمده که دارای اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشد. میزان استحصال اسانس در تیمار B500 با میزان ۰/۵۲ درصد تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۴).

ویژگی های خاک

نتیجه مقایسه میانگین ویژگی های شیمیایی خاک تحت دو تیمار زغال زیستی و شاهد بیانگر وجود اختلاف معنی دار در برخی ویژگی های شیمیایی مورد مطالعه بر اثر کاربرد زغال زیستی می باشد (جدول ۱).



شکل ۴- مقایسه مقادیر میانگین بازدهی اسانس (درصد) بومادران در تیمارهای زغال زیستی و شاهد

Figure4-Comparison the percentage of *A. millefolium* essential oil in different levels of biochar and control treatment

جدول ۱- مقایسه میانگین ویژگی های خاک در تیمارهای تحت زغال زیستی و شاهد

Table 1 - Comparison of soil properties in different biochar treatments and control treatment (mean $\pm$ standard error)

B500	B300	Control	Source of variation
7.66 $\pm$ 0.05 ^a	7.58 $\pm$ 0.03 ^a	7.59 $\pm$ 0.10 ^a	pH
227.2 $\pm$ 0.60 ^a	229.1 $\pm$ 0.20 ^a	301.1 $\pm$ 0.10 ^a	EC
0.48 $\pm$ 0.03 ^a	0.50 $\pm$ 0.01 ^a	0.26 $\pm$ 0.02 ^b	Organic Carbon(%)
0.12 $\pm$ 0.02 ^a	0.11 $\pm$ 0.01 ^{ab}	0.08 $\pm$ 0.00 ^b	Total Nitrogen(%)

Different letters in each row indicate significant differences between means at the one percent level

(2024). مشاهده شده است که کاربرد زغال زیستی موجب افزایش کلروفیل، سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک ریشه و اندام هوایی می‌شود (Biria et al., 2017). همچنین افزودن زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل در برگ یونجه (Abbasnasab et al., 2021)، نرگس شهلا (Dehestani-Karimimovahedi et al., 2021) و همیشه‌بهار (Ardakani et al., 2021) شده است. ساختار متخلخل زغال زیستی، سطح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی، محل مناسبی را برای سکونت میکروارگانیسم‌ها، رشد و تکثیر آنها به‌ویژه باکتری‌ها، اکتینومیسیت‌ها و قارچ‌ها فراهم می‌کند و موجب افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد موجود در خاک می‌شود. باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلفی باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و توسعه اندام‌های گیاهی می‌شوند (Zaefarian et al., 2022).

مطالعه مقادیر وزن خشک اندام هوایی و اندم زیرزمینی بومادران نشان داد که بکارگیری زغال زیستی موجب افزایش وزن اندام‌های هوایی و زیرزمینی بومادران در مقایسه با شاهد شده است. اثرهای مثبت زغال زیستی بر رشد اندام‌های هوایی و ریشه‌ها در مطالعات مختلفی به اثبات رسیده است. بررسی اثرهای زغال زیستی بلوط بر رشد گیاه ماشک و اسپرس نشان داده است که افزودن زغال زیستی بلوط در سطوح ۳ و ۶ درصد موجب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، وزن اندام‌های هوایی، قطر ساقه و ارتفاع *Onobrychis sativa* شد (Fathi, 2021). مطالعه اثر زغال زیستی نیشکر بر رشد ذرت نشان داده است که افزودن زغال زیستی به میزان ۲ و ۴ تن بر هکتار باعث بهبود چشمگیر رشد ریشه، اندازه و تعداد برگ و تولید محصول شده است (Minhas et al., 2020). همچنین مشاهده شده است که افزودن زغال زیستی بقایای چوب و گیاهان زراعی به خاک موجب افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه نعنای فلفلی نسبت به شاهد شده است (Zaefarian et al., 2022). به‌طورکلی رشد ریشه‌ها در خاک به عوامل مختلفی از قبیل ساختار خاک، رطوبت و بافت خاک بستگی دارد. از آنجایی که افزودن زغال زیستی باعث بهبود

نتیجه مقایسه میانگین pH خاک در تیمارهای مختلف حکایت از عدم وجود اختلاف معنی‌دار میان هر دو تیمار زغال زیستی و شاهد دارد. میانگین pH خاک تیمارهای شاهد و B₃₀₀ و B₅₀₀ به ترتیب با ۷/۵۹، ۷/۵۸ و ۷/۴۸ فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (جدول ۱). همچنین نتیجه مقایسه میانگین EC خاک تیمارهای مختلف حکایت از عدم وجود اختلاف معنی‌دار میزان هدایت الکتریکی تیمارهای مختلف با شاهد دارد (جدول ۱). مقایسه میانگین مقدار ازت کل خاک در تیمارهای مختلف نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای زغال زیستی و شاهد است. میانگین درصد ازت کل خاک تیمارهای شاهد با مقدار ۰/۰۸ درصد، دارای اختلاف معنی‌دار با دو تیمار B₃₀₀ و B₅₀₀ (به ترتیب با ۰/۱۱ و ۰/۱۲ درصد) در سطح ۵ درصد می‌باشد. بین دو تیمار B₃₀₀ و B₅₀₀ از نظر مقادیر ازت کل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). نتیجه مقایسه مقادیر درصد کل کربن آلی خاک تیمارهای مختلف نشان داد که کاربرد زغال زیستی موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک در سطح یک درصد شده است. میانگین کل کربن آلی خاک تیمارهای B₅₀₀ و B₃₀₀ به ترتیب با میزان ۰/۴۸ و ۰/۵۰ درصد دارای تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد به میزان ۰/۲۶ درصد است (جدول ۱). بین دو تیمار B₃₀₀ و B₅₀₀ اختلاف معنی‌داری از نظر درصد کربن آلی خاک مشاهده نشد.

بحث

یافته این مطالعه نشان داد که مقادیر کلروفیل a برگ بومادران در گروه‌های دریافت کننده زغال زیستی بلوط به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد است. همچنین مقادیر کلروفیل کل در گروه زغال زیستی ۳۰۰ و ۵۰۰ به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود. کلروفیل مسئول جذب و تبدیل نور خورشید به انرژی است، در نتیجه با رشد مستقیم گیاه ارتباط دارد. مسئول اصلی فتوسنتز و تبدیل نور خورشید به انرژی، کلروفیل a است و کلروفیل b نقش کمکی در این زمینه دارد. افزودن زغال زیستی می‌تواند باعث افزایش دسترسی و جذب عناصر توسط گیاه شود (Danish et al.,

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود، در نتیجه رشد ریشه‌ها یکی از نتایج آن می‌باشد. با افزودن زغال زیستی نوک ریشه‌ها وارد حفره‌های (macro-pores) مملو از رطوبت ایجاد شده در خاک و تماس با زغال زیستی می‌شود، در نتیجه جذب مواد معدنی توسط ریشه‌ها آسانتر انجام می‌گردد (Minhas et al., 2020). به نظر می‌رسد رابطه مثبت بین رشد گیاه و زغال زیستی عمدتاً مربوط به دسترسی به مواد مغذی بیشتر و یا بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک است. مطالعه مقادیر اسانس برگ گیاه بومادران نشان داد که میزان اسانس در تیمارهای زغال زیستی در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر است، هرچند بین دو گروه زغال زیستی ۵۰۰ و شاهد از لحاظ میانگین مقدار اسانس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اسانس‌ها حاوی ترکیبات ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آنها نیاز ضروری به عناصری مانند نیتروژن و فسفر دارد. از این‌رو، زغال زیستی مورد استفاده با تأثیر بر مقادیر نیتروژن و دیگر عناصر ضروری موجب افزایش اسانس گیاه می‌شود. همچنین افزایش مقادیر کلروفیل و فتوسنتز باعث افزایش اسانس می‌شود (Danish et al., 2024). افزایش فعالیت فتوسنتزی برای افزایش جذب عناصر غذایی را می‌توان مرتبط با مهمترین بخش فتوسنتزکننده گیاه یعنی برگ‌ها دانست، به‌طوری‌که با افزایش دسترسی به عناصر غذایی، سطح برگ افزایش می‌یابد، در نتیجه شرایط لازم برای ساخت اسانس مساعد می‌گردد (Sifola and Barbieri, 2006). مطالعه‌ای مشابه نشان داده است که افزودن زغال زیستی بقایای چوب و گیاهان زراعی، موجب افزایش معنی‌دار اسانس گیاه نعنای فلفلی در مقایسه با شاهد شده است (Zaefarian et al., 2022) که همسو با نتایج این مطالعه است. بررسی اثر کاربرد زغال زیستی بر برخی ویژگی‌های خاک در این پژوهش نشان داد که واکنش پارامترهای شیمیایی خاک به کاربرد زغال زیستی متفاوت است. نتایج نشان داد واکنش دو متغیر اسیدیته و هدایت الکتریکی در مواجهه با کاربرد زغال زیستی معنی‌دار نبوده است. زغال زیستی به دلیل داشتن عناصر قلیایی مانند کلسیم و منیزیم دارای pH خنثی تا قلیایی می‌باشد. pH زغال زیستی با توجه به نوع ماده آلی

(Zwieten et al., 2010) و شرایط گرماکافت (sousarae et al., 2019) آن از ۴ تا ۱۲ تغییر می‌کند. زغال‌های زیستی با منشأ چوبی نسبت به زغال‌های زیستی علفی pH کمتری دارند (Singh et al., 2010). نوع و شدت واکنش اسیدیته خاک به افزودن زغال زیستی با توجه به نوع و مقدار زغال زیستی متفاوت است. برای نمونه، برخی پژوهش‌ها نشان داده است که افزودن زغال زیستی تولید شده از علوفه ذرت به خاک اسیدی، سبب افزایش pH خاک شده است (Chintala et al., 2013). همچنین نشان داده شده که افزودن زغال زیستی کود مرغی باعث افزایش معنی‌دار pH شده است (Zolfi et al., 2016). در مقابل یافته‌های دیگری نشان داده است که کاربرد زغال زیستی نیشکر تفاوت معنی‌داری در میزان اسیدیته نسبت به شاهد ایجاد نکرده است (Divband et al., 2017) (Hafeshjani et al., 2017) که همسو با نتایج این مطالعه است. مطالعات گسترده‌ای در زمینه اثرهای زغال زیستی بر هدایت الکتریکی خاک انجام شده است. بیان شده است که کاربرد زغال زیستی می‌تواند باعث افزایش شاخص هدایت الکتریکی خاک به دلیل حضور نمک‌های محلول در زغال زیستی و زیادتر بودن قابلیت هدایت الکتریکی آن نسبت به خاک (Chintala et al., 2013) و قابلیت زغال زیستی در جمع آوری مواد مغذی خاک به دلیل سطح ویژه زیاد آن (Ghorbani & Amirahmadi, 2018) شود. هرچند مطالعاتی نشان داده است که کاربرد زغال زیستی سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Divband Hafeshjani et al., 2017). در مقابل پژوهش‌های دیگری بیان می‌کنند که افزودن زغال زیستی تأثیر چندانی در میزان هدایت الکتریکی خاک نداشته است (Chintala et al., 2013). ارزیابی اثر زغال زیستی بر میزان ازت کل خاک در این تحقیق نشان داد که تیمارهای با زغال زیستی ۳۰۰ و ۵۰۰ موجب افزایش مقدار ازت کل خاک در مقایسه با گروه شاهد شده است. برخی مطالعات نشان داده است کاربرد زغال زیستی باعث افزایش مقدار نیتروژن خاک شده است. این به آن علت است که نیتروژن موجود در زغال زیستی در خاک آزاد شده و موجب افزایش ازت خاک می‌شود (Hasanpour et al., 2017).

کاهش یافته است (Jafari et al., 2024) که این کاهش می‌تواند به دلیل تجزیه سلولز و سایر ترکیبات ساختاری، انتشار بیشتر مواد فرار و کاهش وزن بیشتر باشد. این موضوع در پژوهشهای دیگر نیز گزارش شده است (Yang et al., 2020; Zhang et al., 2019). نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که فرایند تولید زغال زیستی بلوط در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در بهبود عملکرد گیاه بومادران و افزایش بازدهی اسانس مؤثر بوده و نیازی به افزایش دمای بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید زغال زیستی نیست. این موضوع موجب کاهش قابل توجه اتلاف انرژی و کاهش هزینه‌های تولید زغال خواهد شد. البته در تهیه زغال‌های زیستی از سایر گونه‌های گیاهی، می‌بایست مطالعات بیشتر و جامع‌تری انجام شود. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، کاربرد زغال زیستی به عنوان روشی مناسب برای افزایش عملکرد و تولید اسانس و بهبود کیفیت شیمیایی و حاصلخیزی خاک توصیه می‌شود. با کاربرد زغال زیستی مقدار عناصر غذایی خاک (کربن و نیتروژن) افزایش یافت. این افزایش نشان‌دهنده ظرفیت اصلاح‌کننده در برطرف نمودن کمبود این عناصر در خاک می‌باشد. با توجه به اینکه ماندگاری زغال زیستی در خاک به مراتب بیشتر از ماده اولیه آن گزارش شده است، می‌توان از زغال زیستی به عنوان ظرفیتی برای ارتقاء پایدار سطح حاصلخیزی خاک، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش خطرات زیست محیطی آنها استفاده کرد.

در نهایت باید اشاره کرد که با وجود تأثیر مثبت بیوپار بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه بومادران، باید به محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی استفاده از این ترکیب در مقیاس زراعی نیز توجه نمود. تهیه بیوپار از منابع چوبی، به‌ویژه درختان جنگلی، در صورتی که بدون ملاحظات زیست محیطی انجام شود می‌تواند تبعات منفی به همراه داشته باشد؛ هرچند در این مطالعه تنها از سرشاخه‌های ریزشی استفاده شد. همچنین، دسترسی محدود به زغال زیستی در مقیاس انبوه و هزینه‌های احتمالی آن در کاربردهای زراعی، به‌ویژه در دوزهایی مانند ۴ تن در هکتار، ممکن است از منظر

(2022). برای نمونه، اضافه کردن زغال زیستی چمن به خاک با بافت شنی و لومی رسی موجب افزایش نیتروژن خاک شده است (Mukherjee & Zimmerman, 2013). همچنین افزودن زغال زیستی ذرت به خاک نتایج مشابهی را نشان داده است (Nelissen et al., 2012). نتایج نشان داد که تیمار با زغال زیستی ۳۰۰ و ۵۰۰ باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک در مقایسه با گروه شاهد شده است. هرچند گروه‌های تیمار ۳۰۰ و ۵۰۰ در مقایسه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری از لحاظ مقدار کربن آلی نشان ندادند. افزایش مواد آلی خاک با کاربرد زغال زیستی می‌تواند به دلیل وجود مقدار بالای کربن در زغال زیستی تولیدی باشد. در مطالعات متعددی کربن آلی بیشتر در خاکهای تیمار شده با بیوپار نیز گزارش شده است (Lehmann & Rondon 2006; Moradi et al., 2017) که همراستا با نتایج این مطالعه می‌باشد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن زغال زیستی به خاک سبب ارتقای عملکرد زیستی بومادران به دلیل بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک (کربن آلی و ازت) شده است. نکته حائز اهمیت آن است که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در کلیه موارد، بکارگیری زغال‌های زیستی ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، اثر یکسانی در تغییر پارامترهای کمی و کیفی گیاه و خاک داشته است. به عبارت دیگر، تفاوت معنی‌داری بین دو نوع زغال زیستی تهیه شده در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشده است. پژوهش‌های گذشته در مورد تعیین دمای بهینه برای تهیه زغال زیستی از گونه‌های مختلف، نتایج متفاوت و گاه متناقضی را نشان داده است. برای نمونه، پژوهش‌هایی نشان داده است که با افزایش دمای گرماکافت زغال زیستی، رشد ذرت افزایش یافته است (Kabiri et al., 2018). در مقابل برخی مطالعات نشان داده است که زغال‌های زیستی تولیدشده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با زغال زیستی تولید شده در دمای ۹۰۰ درجه، بهبود ذخیره عناصر غذایی قابل دسترس را به همراه داشته است (Alipour et al., 2018). مقایسه عملکرد زغال‌های زیستی تولید شده در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس نشان داده است که با افزایش دما، درصد عملکرد

همچنین، با توجه به وجود منابع غنی بیوچار طبیعی در مناطقی مانند کوهبنان کرمان، بررسی و مقایسه تأثیر آن در پژوهش‌های آینده می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در زمینه انتخاب منبع مناسب زغال زیستی کمک کند.

اقتصادی و ترویجی قابل توجیه نباشد. از این‌رو، نتایج این تحقیق بیشتر به‌عنوان یک مطالعه پایه در محیط کنترل‌شده برای بررسی اثرهای اولیه بیوچار قابل تفسیر است و نیاز به تحقیقات بیشتر در ابعاد اقتصادی، ترویجی و میدانی دارد.

References

- Abbasnasab, Z., Abedi, M. and Sadati, S.E., 2021. Effect of biochar on some morphological and physiological traits in *Medicago sativa* and *Bromus tomentellus*. *Journal of Plant Process and Function*, 10(41): 145-156. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.4.4>
- Alipour Babadi, M., Moezzi, A., Norouzi Masir, M. and Khademalrasoul, A., 2018. Effect of different feedstock and pyrolysis temperature on some chemical and physical properties of biochar. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(3): 537-547. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.225950.667620>
- Arab Bafrani, Z., Ghanei-Bafghi, M.J. and Shirmardi, M., 2020. Effect of wood residues of pistachio biochar on growth characteristics of *Carthamus tinctorius*. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(3): 73-94. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.17831.1937>
- Barahooi, F., Piri, H. and Naserin, A., 2023. Effect of the amount and particle size of *Conocarpus* biochar on physical and hydraulic properties and evaporation from loam sandy soil surface. *Journal of Soil and Water Conservation*, 30(20): 97-117. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.21149.363>
- Biria, M., Moezzi, A. and Amerikhah, H., 2017. Effect of sugarcane bagasse biochar on maize (*Zea mays*) plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil. *Water and Soil*, 31(2): 609-626. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i2.55832>
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Papiernik, S.K., Malo, D.D., Clay, D.E., Kumar, S. and Gulbrandson, W., 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials*, 179: 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2013.05.023>
- Cong, M., Hu, Y., Sun, X., Yan, H., Yu, G., Tang, G., Chen, S., Xu, W. and Jai, H., 2023. Long-term effects of biochar application on the growth and physiological characteristics of maize (*Zea mays*). *Frontiers in Plant Science*, 14: 1172425. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1172425>
- Dalili, A., Ebrahimnia Milani, S., Kamali, N., Mohammadi, S., Pakbaz, M., Jamalnia, S. and Sadeghi, M., 2022. Beneficial effects of *Achillea millefolium* on skin injuries; a literature review. *Journal of Essential Oil Research*, 34(6): 479-489. <https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2104392>
- Danish, M., Pradhan, S. and McKay, G., 2024. Effect of biochar, potting mixture and their blends to improve *Ocimum basilicum* growth in sandy soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-024-01670-8>
- Dehestani-Ardakani, N., Kosravi, N., Shirmardi, M., Gholamnezhad, J. and Naserinasab, F., 2021. The effect of biofertilizers and biochar on morphological and physiological properties of *Narcissus tazetta* cv. "Shahla". *Journal of Soil and Plant Interactions*, 12(1): 79-93. <http://dx.doi.org/10.47176/jspi.12.1.19991>
- Divband Hafshejani, L., Naseri, A.A., Hooshmand, A., Abbasi, F. and Soltani-Mohammadi, A., 2017. Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties of a sandy loam soil. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1): 63-72. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.12667>
- Dudai, N., Putievsky, E., Chaimovitch, D., Ben-Hur, M. and Ravid, U., 2001. Essential oil biosynthesis in *Achillea fragrantissima* under different photoperiod regimes. *Industrial Crops and Products*, 14(3): 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00090-0)
- European Pharmacopoeia Commission, 2008. *European Pharmacopoeia*. 6th ed. Council of Europe, Strasbourg, pp. 123-125.
- Fathi, S., 2021. Effect of *Quercus* biochar amendment on germination, morphology and productivity of *Vicia sativa* and *Onobrychis sativa* with the aim of increasing the success of biological soil conservation practices. Ph.D. thesis, Department of Range and Watershed Management, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
- Ghorbani, M. and Amirahmadi, E., 2018. Effect of rice

- husk biochar on some physical characteristics of soil and corn (*Zea mays*) growth in a loamy soil. Iranian Journal of Soil Research, 32(3): 305-318. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117821>
- Hasanpour, I., Shirvani, M., Hajabbasi, M.A. and Majidi, M.M., 2022. Effect of acidic biochars on some chemical properties and nutrient availabilities of calcareous soils. Journal of Water and Soil Science, 26(2): 39-59. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.26.2.43311>
- Jafari, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M. and Rostaminia, M., 2024. Investigating the effect of pyrolysis temperature and chemical modification on characteristics of sugarcane bagasse and rice straw biochars. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 14(1): 1-27. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2024.21851.2122>
- Kabiri, P., Motaghian, H.R. and Hosseinpour, A., 2018. Effect of biochars produced at different temperatures on the availability of zinc and maize (*Zea mays* L.) responses in a contaminated soil. Water and Soil, 32(4): 779-793. <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.72071>
- Karimimovahedi, M., Akbari, G., Gholami, A.A., Benakashani, F. and Ardakani, M.R., 2023. Effect of biochar and biosulfur on grain yield and some ecophysiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress conditions in winter planting. Journal of Crop Improvement, 25(3): 533-542. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.339343.2684>
- Kazemi, R., Ronaghi, A., Yasrebi, J., Ghasemi, R. and Zarei, M., 2019. Influence of poultry manure-derived biochar and *Funneliformis mosseae* on dry matter yield, concentration and uptake of some nutrient elements, greenness index in corn grown under salinity stress. Soil Biology Journal, 6(2): 167-182. <https://doi.org/10.22092/sbj.2019.118571>
- Lehmann, J. and Rondon, M., 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics: 517-530. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N. and Thies, J., (Eds.). Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC Press, Boca Raton, 849p.
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11: 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Ma, J., Hua, Z., Noreen, S., Malik, Z., Riaz, M., Kamran, M., Ali, S., Elshikh, M. and Chen, F., 2023. Chemical and mechanical coating of sulfur on baby corn biochar and their role in soil Pb availability, uptake, and growth of tomato under Pb contamination. Environmental Pollution, 338: 122654. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122654>
- Minhas, W.A., Hussain, M., Mehboob, N., Nawaz, A., Allah, S.U. and Rizwan, M.S., 2020. Synergetic use of biochar and synthetic nitrogen and phosphorus fertilizers to improve maize (*Zea mays*) productivity and nutrient retention in loamy soil. Journal of Plant Nutrition, 43(9): 1356-1368. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1729804>
- Mokarram, S., Behmanesh, J. and Rezaverdinejad, V., 2024. Interaction effect of deficit irrigation and biochar on quantitative characteristics of coriander (*Coriandrum sativum*) in sandy loam soil. Journal of Water Research in Agriculture, 37(4): 415-425. <https://doi.org/10.22092/jwra.2024.363477.1008>
- Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M.H. and Sepehr, E., 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. Water and Soil, 31(4): 1232-1246. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i4.61298>
- Mukherjee, A. and Zimmerman, A.R., 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. Geoderma, 193: 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>
- Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F. and Morshedloo, M.R., 2023. Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha × piperita* L.) grown under wastewater and reduces environmental contamination from wastewater disposal. Journal of Hazardous Materials, 446: 130674. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130674>
- Nadjafi, F. and Schulz, H., 2023. The current situation of medicinal and aromatic plants' industry, research, education, and standardization in Iran: How can traditional Persian medicine products be successfully adapted to the needs of the European market: 435-450. In: Medicinal Plants Used in Traditional Persian Medicine, (Eds.). CRC Press, London. <https://doi.org/10.1079/9781800621671.0015>
- Najafian, S. and Zahedifar, M., 2018. Productivity, essential oil components and herbage yield of sweet basil (*Ocimum basilicum*) as a function of biochar and potassium-nano chelate. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21(4): 886-894. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.151079>

3

- Nasim, N., Sandeep, I.S. and Mohanty, S., 2022. Plant-derived natural products for drug discovery: Current approaches and prospects. *The Nucleus*, 65(3): 399-411. <https://doi.org/10.1007/s13237-022-00405-3>
- Nelissen, V., Rutting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruysschaert, G. and Boeckx, P., 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 55: 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.019>
- Sifola, M.I. and Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum*) grown under different levels of nitrogen in the field. *Scientia Horticulturae*, 108(4): 408-413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.002>
- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L. and Kathuria, A., 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4): 1224-1235. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0138>
- Sousarae, N., Baranimotlagh, M., Khormali, F. and Dordipour, E., 2019. The effect of biochars prepared from agricultural residues on growth parameters and chlorophyll content of corn (*Zea mays*) in greenhouse condition. *Agricultural Engineering*, 42(1): 13-31. <https://doi.org/10.22055/agen.2018.26014.1429>
- Yang, X., Ng, W., Wong, B.S.E., Baeg, G.H., Wang, C.H. and Ok, Y.S., 2019. Characterization and ecotoxicological investigation of biochar produced via slow pyrolysis: Effect of feedstock composition and pyrolysis conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 365: 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.047>
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. and Gao, B., 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 232: 8-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117>
- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B. and Wu, C., 2018. Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. *Science of the Total Environment*, 659: 473-490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.400>
- Zhang, H., Shao, J., Zhang, S., Zhang, X. and Chen, H., 2020. Effect of phosphorus-modified biochars on immobilization of Cu(II), Cd(II), and As(V) in paddy soil. *Journal of Hazardous Materials*, 390: 121349. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121349>
- Zaefarian, F., Akbarpour, V., Habibi, M. and Kaveh, M., 2019. Effect of biochar and biofertilizers on photosynthetic pigments, yield and nutrients content of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Crop Improvement*, 21(4): 407-422. <https://doi.org/10.22059/jci.2019.279035.2194>
- Zaefarian, F., Akbarpour, V., Kaveh, M. and Habibi, M., 2022. Evaluation of biochar application with organic and biological fertilizers on the quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Agroecology*, 14(3): 561-578. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.20307.0>
- Zheljazkov, V.D., Cantrell, C.L., Astatkie, T. and Jeliakova, E.A., 2006. Distillation time effect on essential oil yield, composition, and bioactivity of *Achillea millefolium* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(17): 6608-6613. <https://doi.org/10.1021/jf060705a>
- Zolfi Bavariani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi-Fasaei, R. and Yasrebi, J., 2016. Effect of poultry manure-derived biochars at different temperatures on chemical properties of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science (Isfahan University of Technology)*, 20(75): 73-86. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.75.73>
- Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Joseph, S. and Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327: 235-246. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>