

(OPEN ACCESS)

**Investigation of the effect of casing soil enriched with biochar on the
quantitative and qualitative characteristics of button mushroom
(*Agaricus bisporus*)**

**Mahbubeh Eshaghi¹, Shoja Ghorbani Dashtaki^{*2}, Ahmad Karimi³,
Golnoosh Banitalebi⁴, Tayebbeh Saedi⁵**

1. Ph.D. Student of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
E-mail: e.mahbub@yahoo.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ghorbani-sh@sku.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
E-mail: karimiahmad1342@sku.ac.ir
4. Director of Development and Research of Negin Fasl Agro-Industry Company, Shahrekord, Iran.
E-mail: golnoosh.banitalebi@gmail.com
5. Ph.D. Graduate of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
E-mail: tayebe.saedi@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Casing soil in button mushroom production is usually extracted from non-renewable peat resources. Therefore, using alternative sources to produce casing soil is crucial to preserve peat resources and prevent environmental degradation. This study aimed to investigate the possibility of replacing a percentage of casing soil and to investigate its effect on the quantitative and qualitative characteristics of button mushrooms.
Article history: Received: 04.18.2025 Revised: 07.22.2025 Accepted: 08.30.2025	
Keywords: Biochar, Biological-efficiency, Button mushroom yield, Casing soil, Vermicompost	Materials and Methods: This research was conducted using a completely randomized design with 29 treatments and 3 replications at Negin Fasl Agriculture and Industry Company, Shahrekord, in 2023. Accordingly, the initial casing soil compositions, including North peat, North peat vermicompost, cow manure vermicompost, and spent mushroom compost vermicompost, were prepared. Then, 5, 10, and 15 weight percent biochar were added to the above casing soil compositions, and the resulting casing soil treatments were incubated for 20 days. After 15 days of compost loading in the button mushroom cultivation hall, 32 kg of casing soil with a thickness of 4 cm was added to each square meter of the cultivation bed. At the end of the cultivation and harvest period, quantitative and qualitative traits of mushrooms, including commercial yield, total yield, biological efficiency, dry matter percentage, piece weight, size, and shelf life, were measured in the experimental treatments.
	Results: The results showed that the total yield of mushrooms in the mixture of northern peat and cow manure vermicompost ($S_2I_1Z_2$) increased by 71.7% with 34.78 kg.m ⁻² compared to commercial casing soil (S_0) with

20.26 kg.m⁻². Although the yield of vermicompost mixed with northern peat and cow manure (S₄l₀) (29.32 kg.m⁻²) was 18% lower than the treatment of vermicompost mixed with northern peat and cow manure (S₂l₁z₂), it is economically viable due to a 50% reduction in the volume of peat consumed. Accordingly, this treatment can be recommended as a suitable formula for preparing casing soil.

Conclusion: The overall results of this study show that applying biochar to casing soil has varying effects on button mushroom characteristics. Among the different biochar levels, adding 5% biochar to casing soils containing cow manure vermicompost yielded the best response across most of the characteristics studied. In the meantime, adding 5% by weight of biochar to the mixture of northern peat and cow manure vermicompost (S₂l₁z₂) is recommended to improve the characteristics and significantly increase the yield of button mushrooms, leading to cost savings and the protection of the country's organic soils.

Cite this article: Eshaghi, Mahbubeh, Ghorbani Dashtaki, Shoja, Karimi, Ahmad, Banitalebi, Golnoosh, Saedi, Tayebbeh. 2026. Investigation of the effect of casing soil enriched with biochar on the quantitative and qualitative characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 16 (2), 99-117.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23519.2189

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی تأثیر خاک پوششی غنی شده با بیوجار بر ویژگی های کمی و کیفی قارچ دکمه ای (*Agaricus bisporus*)

محبوبه اسحاقی^۱، شجاع قربانی دشتکی^{۲*}، احمد کریمی^۳، گلنوش بنی طالبی^۴، طیه ساعدی^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: e.mahbub@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ghorbani-sh@sku.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: karimiahmad1342@sku.ac.ir
۴. مدیر توسعه و تحقیق شرکت کشت و صنعت نگین فصل، شهرکرد، ایران. رایانامه: golnoosh.banitalebi@gmail.com
۵. دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: tayebe.saedi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸ واژه های کلیدی: بیوجار، خاک پوششی، عملکرد قارچ دکمه ای، کارایی- بیولوژیک، ورمی کمپوست	سابقه و هدف: خاک پوششی در تولید قارچ دکمه ای معمولاً از منابع تجدیدناپذیر پیت استخراج می شود. بنابراین استفاده از سایر منابع برای تولید خاک پوششی به منظور حفظ منابع پیت و جلوگیری از تخریب محیط زیست اهمیت زیادی دارد. این پژوهش با هدف بررسی امکان جایگزینی درصدی از خاک پوششی و بررسی اثر آن بر ویژگی های کمی و کیفی قارچ دکمه ای اجرا گردید. مواد و روش ها: این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۹ تیمار در سه تکرار در شرکت کشت و صنعت نگین فصل شهرکرد در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. بر این اساس، ترکیبات اولیه خاک پوششی از جمله پیت شمال، ورمی کمپوست پیت شمال، ورمی کمپوست کودگاو و ورمی کمپوست کمپوست برگشتی قارچ تهیه گردید. سپس به ترکیب های خاک پوششی یاد شده مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی بیوجار اضافه و تیمارهای مختلف خاک پوششی با دوره انکوباسیون ۲۰ روزه ساخته شد. پس از گذشت ۱۵ روز از عملیات بارگیری کمپوست در سالن پرورش قارچ دکمه ای، به هر مترمربع از بستر کشت، ۳۲ کیلوگرم خاک پوششی با ضخامت ۴ سانتی متر اضافه گردید. در پایان دوره کشت و برداشت محصول، صفات کمی و کیفی قارچ از جمله: عملکرد تجاری، عملکرد کل، کارایی بیولوژیک، درصد ماده خشک، میانگین وزنی، اندازه و ماندگاری قارچ در تیمارهای آزمایش اندازه گیری گردید. یافته ها: نتایج نشان داد که عملکرد کل قارچ در مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست کود گاو ($S_2I_1Z_2$) با $34/78$ کیلوگرم بر مترمربع در مقایسه با خاک پوششی تجاری (S_0) با $20/26$

کیلوگرم بر مترمربع، ۷۱/۷ درصد افزایش داشت. علی‌رغم این‌که عملکرد ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی (S_4I_0) (۲۹/۳۲ کیلوگرم بر مترمربع) نسبت به تیمار مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کود گاوی ($S_2I_1Z_2$)، ۱۸ درصد کاهش داشت ولی به دلیل کاهش ۵۰ درصدی حجم پیت مصرفی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. بر این اساس می‌توان این تیمار را به عنوان یکی از فرمول‌های مناسب برای تهیه خاک پوششی پیشنهاد نمود.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی این پژوهش نشان می‌دهد کاربرد بیوجار در خاک پوششی اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های قارچ دکمه‌ای دارد. در بین سطوح مختلف بیوجار، افزودن پنج درصد بیوجار به خاک‌های پوششی دارای ورمی‌کمپوست کود گاوی، بهترین پاسخ را در مورد اغلب ویژگی‌ها مورد مطالعه نشان داد. در این میان افزودن پنج درصد وزنی بیوجار به مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کود گاوی ($S_2I_1Z_2$) به منظور بهبود ویژگی‌ها و تأثیر قابل‌توجه در افزایش عملکرد قارچ دکمه‌ای قابل توصیه بوده و منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و حفاظت از خاک‌های آلی کشور می‌گردد.

استناد: اسحاقی، محبوبه، قربانی دشتکی، شجاع، کریمی، احمد، بنی‌طالبی، گلنوش، ساعدی، طیبیه (۱۴۰۵). بررسی تأثیر خاک پوششی غنی‌شده با بیوجار بر ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۶ (۲)، ۹۹-۱۱۷.

DOI: 10.22069/ejsms.2026.23519.2189



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه در کنار استفاده از محصولات زراعی مهم از جمله گندم، برنج، ذرت و سیب زمینی برای تأمین غذا، استفاده از محصولات غیرمرسوم در سیستم کشاورزی هم چون قارچ می تواند کمک زیادی به تغذیه و وضعیت اقتصادی و اجتماعی مردم کشور بنماید (۱). قارچ ها دارای درصد پروتئین زیاد و ضریب هضم بالایی می باشند که مورد نیاز مبرم کشورهای در حال توسعه است (۲). بنابراین، فناوری پرورش قارچ های خوراکی به ویژه قارچ دکمه ای (*Agaricus bisporus*) می تواند در تأمین تقاضای روزافزون غذا در کشور کمک به سزایی بنماید (۳).

تبدیل ضایعات کشاورزی به اصلاح کننده های آلی به منظور تولید مواد غذایی نیز امری حیاتی محسوب می شود و امروزه به علوم نو در دنیا تبدیل شده است (۴). از جمله صنایع تولیدی که با استفاده از ضایعات کشاورزی هم چون کاه گندم، کاه سویا، باگاس نیشکر، پوسته برنج و خاک اره به چرخه در می آیند، تولید و پرورش قارچ های خوراکی می باشد (۵).

جاسینکا و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم می تواند با ترکیب کود مرغی برای بستر کشت قارچ دکمه ای مورد استفاده قرار گیرد (۶). پورجعفری و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند بسیاری از ضایعات صنعتی و کشاورزی از مواد لیگنوسلولزی هستند که می توانند به عنوان بستر کشت قارچ دکمه ای استفاده شوند (۷). طی تحقیقات انجام شده توسط پورجعفری و همکاران (۲۰۱۷) مشخص شد که بیش از ۲۰۰ نوع ضایعات از جمله پوست درختان، کاه گندم، کاه لوبیا، چوب ذرت، ساقه نعنای، کاه یولاف، خاک اره، کاه برنج، برگ چای، ساقه و طبق گل آفتابگردان و باگاس نیشکر برای تولید بستر قارچ صدفی و دکمه ای استفاده شده است (۷).

یکی از مشکلات صنعت پرورش قارچ دکمه ای که حدود ۳۰ درصد هزینه های مواد اولیه آن را به خود اختصاص داده است، تهیه خاک پوششی مناسب می باشد، که از منابع تجدیدناپذیر و ارزشمند پیت استخراج می شود. در ایران منابع طبیعی پیت برای استفاده به عنوان خاک پوششی محدود بوده و علاوه بر هزینه فراوان برای تهیه آن، مشکلات زیست محیطی فراوانی در اثر برداشت آن ایجاد می شود (۸). گزارش ها نشان می دهد فرایند برداشت درازمدت از ذخایر پیت، حجم زیادی کربن را وارد اتمسفر می کند و تا مدت ها آزادسازی کربن ادامه دارد (۹). انتشار روزافزون گازهای گلخانه ای از عواملی هست که بر سرعت به وجود آمدن پدیده تغییر اقلیم تأثیر می گذارد. گازهای گلخانه ای با صعود به جو زمین و نگه داشتن انرژی خورشیدی در خود منجر به گرم شدن کره زمین و هوای اطراف آن می شوند (۱۰). از جمله راهکارهای پایدار در این زمینه بهبود پتانسیل ترسیب کربن برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از خاک است (۱۱).

مشکلات مصرف پیت باعث شکل گرفتن منابع بیش تر برای یافتن یک ترکیب جایگزین با کارایی قابل قبول گردیده است (۴). بسیاری از پژوهشگران به منظور کاربرد مقادیر کم تر پیت، از مواد پوششی دیگری مانند ورمی کمپوست، کمپوست برگشتی قارچ، کاه و کلش گندم، کود دامی، پرلیت و ورمی کوئیت در ترکیبات خاک پوششی استفاده کردند (۴). از دیگر سو، وجود ضایعات و بقایای گیاهی نیز بعد از برداشت محصولات باغی و زراعی مشکلات زیادی برای کشاورزان به وجود می آورد. از جمله راهکارهای استفاده از بقایای کشاورزی، گرماکافت آنها است (۱۲). بیوپار حاصل از گرماکافت ضایعات آلی به عنوان اصلاح کننده پایدار در خاک به کار می رود، این ماده جامد، سیاه رنگ، غنی از کربن پایدار و متخلخل با سطح ویژه بالا است (۱۳). کربن موجود

بررسی‌های مطالعات انجام شده نشان داد که تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد اثر افزودن بیوپار به خاک پوششی قارچ خوراکی انجام شده بود و اثر توأم مقدار و اندازه ذرات بیوپار بررسی نشده است. بر این اساس این پژوهش با هدف امکان‌سنجی جایگزینی درصدی از خاک پوششی با فرمول‌های مختلف، با بیوپار مخلوط ضایعات هرس درختان آلو و انار و تأثیر آن بر ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای در دانشگاه شهرکرد و کارخانه تولید کمپوست و قارچ نگین فصل شهرکرد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه شهرکرد و کارخانه تولید کمپوست و قارچ نگین فصل واقع در شهرستان شهرکرد در سال ۱۴۰۳ انجام گردید. بر این اساس، ترکیبات اولیه خاک پوششی از جمله پیت شمال، ورمی‌کمپوست پیت شمال، ورمی‌کمپوست کودگاو و ورمی‌کمپوست کمپوست برگشتی قارچ تهیه گردید. سپس برای تهیه تیمارهای آزمایشی مقدار پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی بیوپار در اندازه ذرات ۰-۱ و ۱-۲ میلی‌متر به خاک‌های پوششی یادشده با دوره انکوباسیون ۲۰ روزه اضافه شد. پس از تهیه تیمارها، ۱۵ روز پس از عملیات بارگیری کمپوست در سالن پرورش قارچ دکمه‌ای یعنی زمانی که ۷۰ درصد بستر کمپوست از مسیلیوم‌های قارچ پوشیده شد، به هر مترمربع ۳۲ کیلوگرم خاک پوششی با ضخامت چهار سانتی‌متر به بستر کشت قارچ اضافه گردید. پس از به‌دست آمدن محصول، صفات کمی و کیفی قارچ از جمله: عملکرد تجاری، عملکرد کل، کارایی بیولوژیک، درصد ماده خشک، میانگین وزنی، اندازه و ماندگاری قارچ اندازه‌گیری شد.

تهیه بیوپار: بیوپار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دانش بنیان فصل پنجم واقع در استان فارس

در بیوپار، طی سال‌های زیاد در خاک تثبیت می‌شود به تبع انتشار آن در اتمسفر به صورت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن به تعویق می‌افتد در صورتی‌که بازگشت کربن موجود در بقایای گیاهی سریع صورت می‌گیرد (۱۴). مطالعات اندکی در مورد اثر افزودن بیوپار به خاک پوششی در تولید و پرورش قارچ انجام شده است. نتایج پژوهش هو و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که استفاده بیوپار کمپوست برگشتی قارچ در کشت قارچ صدفی باعث حفظ رطوبت بستر، افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی عملکرد تولید قارچ و کاهش چهار تا شش روز در زمان ثمربخشی و برداشت محصول می‌شود (۱۵). ماهاری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که افزودن بیوپار هسته خرما به بستر قارچ صدفی سبب افزایش عملکرد آن می‌شود. بیوپار با حفظ رطوبت بستر و کاهش از دست دادن مواد مغذی، می‌تواند بازده تولید قارچ صدفی (*Pleurotus ostreatus*) را افزایش دهد (۱۶).

اسکندری‌نیا و همکاران (۲۰۲۲) طی مطالعه‌ای با هدف تولید خاک پوششی از باگاس نیشکر بدون نیتروژن، باگاس نیشکر با نیتروژن و پوسته بادام در سطوح پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی و بیوپار آن‌ها در سطوح پنج و ۱۰ درصد حجمی جهت جایگزینی درصدی از پیت به این نتیجه رسیدند که تیمار بیوپار باگاس نیشکر بدون نیتروژن در سطح کاربرد پنج درصد حجمی بیوپار از نظر درصد حجم هوا و تخلخل کل نسبت به پیت مرسوم، برتری داشت. همچنین، برتری نسبی بیوپار باگاس نیشکر با نیتروژن در سطح کاربرد ۱۰ درصد مقدار بیوپار از نظر چگالی ظاهری و مکش ورود هوا به خاک نسبت به شاهد مشاهده شد. تیمار بیوپار باگاس نیشکر با نیتروژن در سطح کاربرد پنج درصد حجمی بیوپار نیز از نظر رطوبت باقی مانده نسبت به پیت مرسوم برتری داشت (۱۷).

که طی فرآیند گرماکافت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نگهداری سه ساعت، تولید شده بود تهیه گردید. بیوچار مورد استفاده از شاخه‌های اضافی هرس درختان آلو و انار با طول ۵۰ و قطر چهار سانتی‌متر با هم ترکیب و درون کوره صنعتی با ظرفیت ۱۰ تن در درجه حرارت مذکور و در شرایط عدم حضور اکسیژن یا به مقدار فوق‌العاده کم، تولید شد. بیوچار تهیه شده از الک دو میلی‌متر عبور داده و ویژگی‌های شیمیایی pH و قابلیت هدایت الکتریکی به روش عصاره‌گیری با نسبت ۱ به ۵ آب به بیوچار به ترتیب با دستگاه pH متر و EC متر (۱۸)، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری (۱۹ و ۲۰)، پتاسیم به روش شعله سنجی با دستگاه فلیم‌فتومتری (۱۹)، فسفر به روش اولسن (۲۱)، نیتروژن به روش کج‌دال (۲۲) و کربن آلی به روش سوزاندن (۵) اندازه‌گیری گردید.

تهیه ورمی‌کمپوست: ابتدا کود گاوی (۱۷۰ کیلوگرم)، کمپوست برگشتی قارچ دکمه‌ای (۱۷۰ کیلوگرم)، پیت شمال (۱۷۰ کیلوگرم) و بیوچار (۶۰ کیلوگرم) به‌عنوان مواد اولیه ترکیب خاک پوششی تهیه گردید. کود گاوی و کمپوست برگشتی قارچ تهیه شده در یک محل مناسب جداگانه انباشته شدند و برای توزیع هوا و فرایند تجزیه هوازی در توده آن‌ها، به‌طور منظم ترکیبات توده آن‌ها مخلوط و رطوبت کافی به آن اضافه می‌گردید. به این ترتیب کود گاوی با گذشت یکسال و کمپوست برگشتی قارچ با گذشت شش ماه تحت تأثیر حرارت و رطوبت تجزیه و به طور کامل پوسانیده گردیدند. پس از آماده شدن ترکیبات موردنیاز در خاک پوششی به هر سبب پلاستیکی با ابعاد ۸۰×۵۰ و عمق ۲۵ سانتی‌متر، مقدار ۳۰ کیلوگرم از هر کدام از ترکیبات افزوده گردید و به ازای هر سبب ۱۰۰ عدد کرم خاکی قرمز (*Eisenia feotida*) در عمق ۱۵ سانتی‌متری بستر رها گردید و طی مدت

زمان دو ماه، با تأمین دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۵ تا ۸۵ درصد با آبیاری به صورت هفته‌ای یک نوبت به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر به ازای هر سبب، ورمی‌کمپوست مواد اولیه خاک پوششی از جمله کود گاوی، کمپوست برگشتی قارچ دکمه‌ای و پیت شمال آماده برداشت گردیدند. ورمی‌کمپوست تولید شده دارای بافت یکنواخت، نرم و همگن، بوی مطبوع و رنگ قهوه‌ای تیره مایل به سیاه که در واقع ۷۰ تا ۸۰ درصد آن فضولات کرم خاکی بود (۲۳).

طرح آماری آزمایش و اعمال تیمارها: این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه فاکتور نوع خاک پوششی در چهار سطح، مقدار بیوچار در چهار سطح و اندازه ذرات بیوچار در دو سطح و در سه تکرار و تیمار شاهد (خاک پوششی مورد استفاده در کارخانه) با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و کمپوست برگشتی قارچ با نسبت وزنی برابر در سه تکرار، در مجموع ۲۹ تیمار با ۸۷ کرت آزمایش انجام گردید.

فاکتور نوع خاک پوششی شامل چهار سطح (S_1, S_2, S_3 و S_4) که به ترتیب S_1 : مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کمپوست برگشتی قارچ به نسبت وزنی ۵۰ درصد، S_2 : مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد، S_3 : ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کمپوست برگشتی قارچ به نسبت وزنی ۵۰ درصد، و S_4 : ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد بود. فاکتور مقدار بیوچار شامل چهار سطح L_0, L_1, L_2 و L_3 به ترتیب با مقادیر صفر، پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی و فاکتور اندازه ذرات بیوچار شامل دو سطح Z_1 و Z_2 (ذرات ۰-۱ و ۱-۲ میلی‌متر) بود. سطوح فاکتورهای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- سطوح فاکتورهای آزمایش.

Table 1. Levels of experimental factors.

نام تیمار the treatment	مشخصات تیمار Treatment specifications
S ₀	خاک پوششی مورد استفاده در کارخانه نگین فصل با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و کمپوست برگشتی قارچ و نسبت وزنی برابر (شاهد)
S ₁	مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست کمپوست برگشتی قارچ به نسبت وزنی ۵۰ درصد
S ₂	مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد
S ₃	ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و کمپوست برگشتی قارچ به نسبت وزنی ۵۰ درصد
S ₄	ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد
L ₀	عدم کاربرد بیوجار در خاک پوششی (شاهد)
L ₁	کاربرد ۵ درصد وزنی بیوجار یا ورمی کمپوست بیوجار
L ₂	کاربرد ۱۰ درصد وزنی بیوجار یا ورمی کمپوست بیوجار
L ₃	کاربرد ۱۵ درصد وزنی بیوجار یا ورمی کمپوست بیوجار
Z ₁	اندازه ذرات بیوجار ۰-۱ میلی متر
Z ₂	اندازه ذرات بیوجار ۱-۲ میلی متر

نمونه خاک انتخاب گردیدند. بدین منظور برای تولید خاک پوششی، پیت شمال، کود گاوی، کمپوست برگشتی پرورش قارچ شش ماهه و بیوجار حاصل از مخلوط ضایعات هرس درختان آلو و انار و ورمی کمپوست آن‌ها تهیه گردیدند. سپس با توجه به تیمارهای آزمایش مقادیر لازم بیوجار به فرمول‌های خاک پوششی مورد استفاده، اضافه گردید. ترکیب تیمارها در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای تهیه تیمارهای آزمایش، نمونه‌های مخلوط خاک و بیوجار و ورمی کمپوست آن‌ها جهت بررسی اثر مقدار و اندازه ذرات بیوجار حاصل از مخلوط ضایعات هرس درختان آلو و انار بر ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای تهیه گردیدند که با توجه به پژوهش‌های گسترده در مورد مواد جایگزین خاک پوششی پیت در سال‌های اخیر، موادی که عملکرد بیش‌تری تولید نموده و قابل دسترس بودند، به عنوان

جدول ۲- ترکیب تیمارهای آزمایش.

Table 2. Combination of experimental treatments.

کد تیمار Treatment	کد تیمار Code	کد تیمار Treatment	کد تیمار Code	کد تیمار Treatment	کد تیمار Code	کد تیمار Treatment	کد تیمار Code	کد تیمار Treatment	کد تیمار Code
S ₀ (شاهد)	29	S ₄ L ₀	22	S ₃ L ₀	15	S ₂ L ₀	8	S ₁ L ₀	1
		S ₄ L ₁ Z ₁	23	S ₃ L ₁ Z ₁	16	S ₂ L ₁ Z ₁	9	S ₁ L ₁ Z ₁	2
		S ₄ L ₁ Z ₂	24	S ₃ L ₁ Z ₂	17	S ₂ L ₁ Z ₂	10	S ₁ L ₁ Z ₂	3
		S ₄ L ₂ Z ₁	25	S ₃ L ₂ Z ₁	18	S ₂ L ₂ Z ₁	11	S ₁ L ₂ Z ₁	4
		S ₄ L ₂ Z ₂	26	S ₃ L ₂ Z ₂	19	S ₂ L ₂ Z ₂	12	S ₁ L ₂ Z ₂	5
		S ₄ L ₃ Z ₁	27	S ₃ L ₃ Z ₁	20	S ₂ L ₃ Z ₁	13	S ₁ L ₃ Z ₁	6
		S ₄ L ₃ Z ₂	28	S ₃ L ₃ Z ₂	21	S ₂ L ₃ Z ₂	14	S ₁ L ₃ Z ₂	7

کشت و برداشت قارچ در آزمایش: ابتدا کمپوست تولید شده شامل کاه و کلش گندم، کود مرغی، سنگ گچ و باگاس نیشکر به ترتیب به مقدار ۵۰، ۳۵، ۵ و ۱۰ درصد حجمی، در تونل پاستوریزه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت پاستوریزه گردیدند و سپس به مدت ۷۰ تا ۸۰ ساعت در دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد برای آمونیاک‌زدایی در تونل نگهداری گردیدند. پس از آمونیاک‌زدایی طی ۲۴ ساعت دمای آن را کاهش داده شد تا به ۲۲ درجه سانتی‌گراد رسید و در انتها با بذر گندم آغشته به میسلیم قارچ دکمه‌ای رقم سیلوان در بسترهای کشت تلقیح گردید. در هر بستر کشت (ستون) به ابعاد ۱۶۰×۱۸۰ cm، تعداد ۱۲ بلوک کمپوست با ابعاد ۶۰×۴۰ cm و ارتفاع ۱۷-۲۰ cm قرار گرفت، که بدین ترتیب در هر مترمربع ۷۰ کیلوگرم کمپوست استفاده گردید. سطوح کمپوست با روزنامه مرطوب پوشانیده شد، این امر باعث ریشه‌دوانی و رشد میسلیم می‌شود و در نهایت رنگ بستر سفید می‌گردد. رطوبت و تهویه سالن زمانی که کمپوست در آن قرار گرفته شد، توسط دستگاه‌های رطوبت‌ساز و تهویه تنظیم گردیدند، به نحوی که دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد و غلظت CO₂ داخل سالن ۲۰۰۰-۳۰۰۰ ppm بود. خاک‌های پوششی تهیه شده متناسب با تیمارهای آزمایشی پس از پاستوریزه شدن به وسیله بخار آب در تونل‌های پاستوریزه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار گرفتند. بدین‌منظور ۱۵ روز پس از عملیات بارگیری کمپوست در سالن پرورش، یعنی زمانی که ۷۰ درصد بستر کمپوست از میسلیم‌های قارچ پوشیده شده بود، مرحله خاکدهی شروع گردید. در هر مترمربع بستر کشت، ۳۲ کیلوگرم خاک پوششی با ضخامت چهار سانتی‌متر به شرح تیمارهای آزمایش به صورت ککینگ اضافه گردید. در روش ککینگ

به‌منظور کاهش دوره رشد بر روی بستر کشت، به خاک پوششی مقداری کمپوست اسپان ران شده یا همان کمپوستی که از قبل در آن ریشه دوانیده شده است، اضافه می‌شود.

پس از اضافه کردن خاک پوششی به بستر کشت، عملیات آبیاری آغاز گردید. اولین مرحله آبیاری بلافاصله پس از خاکدهی بستر صورت گرفت. آبیاری تا زمانی که پین‌هدها به اندازه یک سانتی‌متر رسیدند، ادامه یافت و آبیاری به صورتی انجام گردید که مولکول‌های آب به حالت پودر و شکل مه‌پاشی داشتند. پس از خاکدهی و آبیاری، رطوبت نسبی سالن کشت ۹۵ درصد و غلظت گازکربنیک ۵۰۰ ppm بود. به منظور تشکیل اندام باردهی، با رشد میسلیم‌ها در سطح خاک پوششی مرحله شوکدهی با تهویه هوا و کاهش تدریجی دما و رساندن درجه حرارت به ۱۶ درجه سانتی‌گراد شروع گردید. پس از گذشت هفت روز از زمان انجام شوک سرمایی، اولین اندام‌های ته‌سجاقی تشکیل شدند و برداشت قارچ آغاز گردید. برداشت محصول در سه فلش (مرحله) و در مدت ۲۱ تا ۲۵ روز طول کشید و دما و رطوبت سالن در این مرحله به ترتیب در ۱۹ درجه سانتی‌گراد و ۸۵ درصد کنترل گردید. زمان اولین مرحله برداشت نه تا ۱۱ روز پس از هوادهی بود. پروسه تولید قارچ از ابتدا تا انتها در مدت زمان کوتاه ۲ ماهه انجام گرفت.

ارزیابی شاخص‌های کیفی و کمی قارچ دکمه‌ای: در هر فلش برداشت قارچ، شاخص‌های عملکرد قارچ درجه یک (بافت متراکم، کلاهدک پشت بسته و وضعیت ظاهری خوب و عالی)، عملکرد قارچ درجه دو (بافت نیمه متراکم، کلاهدک پشت باز و وضعیت ظاهری متوسط)، عملکرد کل (مجموع عملکرد قارچ درجه یک و دو)، میانگین وزن هر قارچ با استفاده از شمارش تعداد قارچ در یک کیلوگرم قارچ، درصد ماده خشک قارچ (ماده خشک ۱۰ عدد قارچ تازه که ۴۸

ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده است) با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم، اندازه قطر کلاهک با استفاده از کولیس، ماندگاری قارچ با ارزیابی افت وزن قارچ تازه پس از دو روز نگهداری قارچ در دمای چهار درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید و کارایی بیولوژیک (نسبت وزن قارچ تازه به وزن خشک کمپوست) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۸).

$$BF(\%) = \frac{YFM}{DWC} * 100 \quad (1)$$

که در آن، BF کارایی بیولوژیک بر حسب درصد، YFM عملکرد قارچ تازه و DWC وزن خشک کمپوست استفاده شده است.

تجزیه‌های آماری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش، نرمال بودن نتایج با آزمون

کولموگروف-اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها با آزمون لون تست گردید. برای بررسی اثرات تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در قارچ دکمه‌ای، تجزیه واریانس (ANOVA) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی از طریق آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ($p < 0.05$) انجام و برای مشخص نمودن اثرات اصلی تیمارها و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های مورد مطالعه، تجزیه واریانس سه عاملی انجام شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گردید (۲۴).

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار مورد استفاده در این پژوهش.

Table 3. Chemical properties of biochar used in this study.

قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	واکنش pH	کربن به نیتروژن C/N	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	ماده آلی OM
2.10	8.1	10.2	0.79	0.14	0.17	4.26	5.77	59.7

بیوپچار مورد استفاده در این پژوهش دارای pH برابر با ۸/۱ و EC برابر با ۲/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود که هیچ‌گونه محدودیتی برای افزودن آن به خاک پوششی ندارد. زید و همکاران (۲۰۱۱) بیشینه pH خاک پوششی را نه و EC خاک پوششی را چهار دسی‌زیمنس بر متر در عصاره یک به پنج خاک به آب پیشنهاد کردند (۲۵).

خصوصیات کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات آگرومورفولوژیکی قارچ در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد اثر نوع خاک، مقدار و اندازه بیوپچار و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد قارچ درجه یک، عملکرد کل قارچ، کارایی بیولوژیک،

میانگین وزن و افت وزن هر قارچ در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است. بر اساس این نتایج اثر نوع خاک و مقدار بیوپچار و اثر متقابل اندازه ذرات در نوع خاک و مقدار بیوپچار بر عملکرد قارچ درجه دو در سطح آماری یک درصد و اثر نوع خاک و مقدار بیوپچار در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل نوع خاک و مقدار بیوپچار در سطح آماری پنج درصد بر درصد ماده خشک قارچ معنی‌دار است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که نوع خاک و مقدار بیوپچار بر قطر کلاهک قارچ در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار ولی اثرات متقابل آن‌ها بی‌تأثیر است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات آگرومورفولوژیکی قارچ.

Table 4. Results of variance analysis of agromorphological characteristics of mushroom.

ضریب تغییرات Cov	درجه آزادی df	عملکرد درجه ۱ FCMP (kg.m ⁻²)	عملکرد درجه ۲ SCMP (kg.m ⁻²)	عملکرد کل MTP (kg.m ⁻²)	کارایی بیولوژیکی BE (%)	ماده خشک MDM (%)	میانگین وزن هر قارچ AMW (gr)	قطر کلاهک MCD (cm)	افت وزن هر قارچ MDL (%)
میانگین مربعات Mean square									
S	3	452.47**	2.16**	500.32**	1805.02**	3.44**	17.67**	1.37*	12.67**
L	3	564.44**	8.35**	436.32**	1574.03**	16.27**	246.67**	2.20*	3311.36**
Z	1	15.25**	0.48 ^{ns}	22.03**	79.55**	0.16 ^{ns}	62.49**	0.87 ^{ns}	62.49**
L × S	6	22.80**	0.26 ^{ns}	19.10**	68.93**	0.491*	24.77**	0.74 ^{ns}	30.67**
Z × S	3	87.23**	1.55**	109.04**	393.46**	0.97**	13.16**	0.02 ^{ns}	11.45**
Z × L	2	12.43**	2.40**	4.46**	16.15**	0.17 ^{ns}	27.27**	0.29 ^{ns}	34.01**
Z × L × S	6	10.32**	0.67**	9.20**	33.17**	0.16 ^{ns}	12.86**	0.67 ^{ns}	20.83**
خطا	48	0.45	0.41	0.276	0.323	0.16	0.396	0.46	2.14

** معنی داری در سطح احتمال ۱٪ ($P < 0.01$)، * معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ($P < 0.05$)، ^{ns}: غیر معنی دار در سطح احتمال ۵٪ ($P < 0.05$)
 S: نوع خاک، L: مقدار بیوچار، Z: اندازه ذرات بیوچار، FCMP^۱: عملکرد قارچ درجه یک، SCMP^۲: عملکرد قارچ درجه دو، MTP^۳: عملکرد کل قارچ، BE^۴: کارایی بیولوژیکی، MDM^۵: ماده خشک قارچ، AMW^۶: میانگین وزن هر قارچ، MCD^۷: قطر کلاهک قارچ، MDL^۸: افت وزن هر قارچ
 ** Significance at the 1% probability level, * Significance at the 5% probability level, ^{ns}: non-significant at the 5% probability level
 S: soil type, L: amount of Biochar, Z: Biochar partical size, FCMP: First Class Mushroom Performance, SCMP: Second Class Mushroom Performance, MTP: Mushroom Total Performance, BE: Biological Efficiency, MDM: Mushroom Dry Matter, AMW: Average Weight of Mushroom, MCD: Mushroom Cap Diameter, MWL: Mushroom Weight loss

نتایج عملکرد قارچ دکمه‌ای در تیمارهای آزمایش:

نتایج مقایسه میانگین عملکرد قارچ درجه یک، دو و کل قارچ تیمارهای آزمایش در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین بیشترین عملکرد قارچ درجه یک در تیمار S₂L₂Z₂ (۳۳/۸۶) کیلوگرم بر مترمربع) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی دار با تیمار S₂L₁Z₂ (۳۳/۳۳) کیلوگرم بر مترمربع) بود. کمترین عملکرد قارچ درجه یک نیز در تیمار S₁L₃Z₁ (۱۰/۴۶) کیلوگرم بر مترمربع) به دست آمد. عملکرد قارچ درجه یک در تیمارهای S₂L₂Z₂ و S₂L₁Z₂ در مقایسه با تیمار S₀ به ترتیب ۸۴/۸۱ و ۷۹ درصد افزایش یافت. در خاک S₁ افزودن بیوچار در سطوح پنج و ۱۰ درصد مقادیر و اندازه ذرات ۲-۱ میلی متری بیوچار باعث افزایش معنی دار عملکرد

قارچ تجاری و در تیمارهایی با اندازه ذرات ۱-۰ میلی متری بیوچار باعث کاهش معنی دار این ویژگی شد ولی افزودن بیوچار در سطح ۱۵ درصد مقادیر بیوچار، عملکرد قارچ تجاری را کاهش داد. کاربرد بیوچار در خاک S₂ باعث افزایش معنی دار این ویژگی شد که این افزایش در سطوح پنج و ۱۰ درصد مقادیر بیوچار و اندازه ۲-۱ میلی متری بارزتر بود. روند تغییرات در خاکهای S₃ و S₄ نیز با افزایش بیوچار به صورت کاهشی بود (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین عملکرد قارچ درجه دو نشان داد که عملکرد قارچ درجه دو در تیمار S₂L₃Z₂ بالاترین مقدار (۳/۰۷) کیلوگرم بر مترمربع) بود که اختلاف معنی داری با تیمار S₁L₃Z₂ (۲/۸۴) کیلوگرم بر مترمربع) نداشت. کمترین عملکرد قارچ درجه دو نیز

(*Pleurotus ostreatus*) را افزایش دهد (۲۶). براساس گزارش اسکندری نیا و همکاران (۲۰۲۲)، عملکرد تیمار بیوچار پوسته بادام در سطح پنج درصد وزنی در مقایسه با پیت مرسوم با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و کمپوست برگشتی قارچ به طور معنی داری بیش تر بود که منطبق با نتایج به دست آمده در این پژوهش بود (۱۷).

نتایج کارایی بیولوژیک قارچ در تیمارهای آزمایش:

نتایج مقایسه میانگین کارایی بیولوژیک قارچ تیمارهای آزمایش در جدول ۶ آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین، بیش ترین کارایی بیولوژیکی قارچ در تیمار $S_{2L_2Z_2}$ ($96/22$ درصد) ثبت شد. فاقد اختلاف معنی دار با تیمار $S_{2L_1Z_2}$ ($95/80$ درصد) بود. کم ترین کارایی بیولوژیک قارچ نیز در خاک پوششی تجاری و تیمار $S_{1L_3Z_1}$ ($30/13$ درصد) به دست آمد. کارایی بیولوژیک قارچ در تیمارهای $S_{2L_1Z_2}$ و $S_{2L_2Z_2}$ نسبت به تیمار S_0 به ترتیب $71/66$ و $72/4$ درصد افزایش پیدا کرد. در خاک S_1 کاربرد بیوچار باعث افزایش معنی دار کارایی بیولوژیک قارچ در تیمارهایی با اندازه ذرات ۱-۲ میلی متری و کاهش معنی دار در تیمارهایی با اندازه ذرات ۰-۱ میلی متری بیوچار شد. کاربرد بیوچار در خاک S_2 باعث افزایش معنی دار این ویژگی شد که این افزایش در سطوح پنج و ۱۰ درصد مقادیر بیوچار و اندازه ذرات ۱-۲ میلی متری نمایان تر بود. روند تغییرات کارایی بیولوژیک قارچ در خاک های S_3 و S_4 نیز با افزایش بیوچار به صورت کاهشی بود (جدول ۶). مشابه این نتایج رحمانی پور و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک پوششی با ترکیب پیت و کوکوپیت به مقدار پنج و ۱۰ درصد وزنی، تأثیر قابل توجهی بر درصد کارایی بیولوژیک قارچ دکمه ای به عنوان یک شاخص ارزیابی عملکرد نسبت به تیمار شاهد داشت (۲۷).

در تیمار $S_{3L_1Z_2}$ ($0/13$ کیلوگرم بر مترمربع) بود. افزودن بیوچار در تیمارهای خاک S_1 به استثنای تیمار $S_{1L_3Z_1}$ و در تیمارهای خاک S_2 به استثنای تیمارهای $S_{2L_3Z_1}$ و $S_{2L_3Z_2}$ افزایش یا کاهش معنی داری نداشت. در تیمارهای خاک S_3 و S_4 به استثنای تیمار $S_{4L_3Z_1}$ نیز بی تأثیر بود (جدول ۵).

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین مشخص شد که افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش عملکرد کل قارچ می شود (جدول ۵). در این پژوهش، بیش ترین عملکرد کل قارچ در تیمار $S_{2L_2Z_2}$ ($34/93$ کیلوگرم بر مترمربع) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی دار با تیمار $S_{2L_1Z_2}$ ($34/78$ کیلوگرم بر مترمربع) بود. عملکرد کل قارچ در تیمارهای $S_{2L_2Z_2}$ و $S_{2L_1Z_2}$ در مقایسه با تیمار S_0 به ترتیب $72/40$ و $71/66$ درصد افزایش یافت. کم ترین عملکرد کل قارچ نیز در تیمار $S_{1L_3Z_1}$ ($10/94$ کیلوگرم بر مترمربع) به دست آمد. در خاک S_1 افزودن بیوچار در سطوح پنج و ۱۰ درصد مقادیر و اندازه ذرات ۱-۲ میلی متری بیوچار باعث افزایش معنی دار عملکرد کل قارچ و در تیمارهایی با اندازه ذرات ۰-۱ میلی متری بیوچار باعث کاهش معنی دار شد ولی افزودن بیوچار در سطح ۱۵ درصد مقادیر بیوچار، عملکرد کل قارچ را کاهش داد. در خاک S_2 افزودن بیوچار باعث افزایش معنی دار این ویژگی شد که در سطوح پنج و ۱۰ درصد مقادیر بیوچار و اندازه ذرات ۱-۲ میلی متری این افزایش بارزتر بود. در خاک های S_3 و S_4 نیز روند تغییرات با افزایش بیوچار به طور معنی دار کاهشی بود (جدول ۵). یافته های این پژوهش با نتایج پژوهش ماهاری و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد که گزارش کردند که افزودن بیوچار هسته خرما به بستر قارچ خوراکی سبب افزایش سطح رطوبت و کوتاه شدن دوره رشد میسلیوم و افزایش عملکرد آن می شود (۱۶). بیوچار با حفظ رطوبت بستر و کاهش از دست دادن مواد مغذی، می تواند بازده تولید قارچ صدفی

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد قارچ درجه یک، دو و کل قارچ در تیمارهای آزمایش.

Table 5. Comparison of average yield of first, second and total mushrooms in experimental treatments.

عملکرد کل MTP (kg.m ⁻²)	عملکرد درجه ۲ SCMP (kg.m ⁻²)	عملکرد قارچ درجه ۱ FCMP (kg.m ⁻²)	تیمار Treatment	عملکرد کل MTP (kg.m ⁻²)	عملکرد درجه ۲ SCMP (kg.m ⁻²)	عملکرد قارچ درجه ۱ FCMP (kg.m ⁻²)	تیمار Treatment
26.39 d	0.55 d-g	25.83 e	S _{3l0}	18.47 j	0.79 d-g	17.67 k	S _{1l0}
21.45 g	0.60 d-g	20.84 h	S _{3l1z1}	16.00 k	0.63 d-g	15.35 l	S _{1l1z1}
19.71 i	0.13 g	19.58 ij	S _{3l1z2}	19.41 i	0.93 c-g	18.47 Jk	S _{1l1z2}
23.50 f	0.66 d-g	22.83 g	S _{3l2z1}	13.26 m	1.30 b-g	11.95 m	S _{1l2z1}
20.77 gh	0.63 d-g	20.14 hi	S _{3l2z2}	24.37 e	0.84 c-g	23.45 fg	S _{1l2z2}
15.41 k	0.97 d-g	14.43 l	S _{3l3z1}	10.94 n	0.47 d-g	10.46 n	S _{1l3z1}
14.53 i	1.67 b-d	12.86 m	S _{3l3z2}	17.84 j	a 2.84	15.00 l	S _{1l3z2}
29.32 c	0.67 d-g	28.65 c	S _{4l0}	17.92 j	0.42 e-g	17.49 K	S _{2l0}
26.66 d	0.87 c-g	26.05 e	S _{4l1z1}	30.26 b	1.02 d-h	29.36 bc	S _{2l1z1}
23.43 f	0.68 d-g	22.74 g	S _{4l1z2}	34.78 a	1.44 b-f	33.33 a	S _{2l1z2}
28.51 c	1.23 b-g	27.28 d	S _{4l2z1}	30.99 b	1.11 b-g	29.88 b	S _{2l2z1}
24.54 e	0.24fg	42.29 f	S _{4l2z2}	34.93 a	1.06 b-g	33.86 a	S _{2l2z2}
20.16 hi	2.32 ab	17.92 k	S _{4l3z1}	21.39 g	2.03 a-c	19.35 ij	S _{2l3z1}
15.80 k	1.56 b-e	14.23 l	S _{4l3z2}	21.68 g	3.07 a	18.60 jk	S _{2l3z2}
				20.26 hi	1.64 b-e	18.62 jk	S ₀ (شاهد)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The averages with at least one letter common do not have a significant difference

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بر کارایی بیولوژیک قارچ دکمه‌ای.

Table 6. Comparison of the average of experimental treatments on the biological efficiency of button mushroom.

کارایی بیولوژیک (%) BE	تیمار Treatment	کارایی بیولوژیک (%) BE	تیمار Treatment	کارایی بیولوژیک (%) BE	تیمار Treatment	کارایی بیولوژیک (%) BE	تیمار Treatment
80.77 c	S _{4l0}	72.69 d	S _{3l0}	49.36 j	S _{2l0}	50.88 j	S _{1l0}
73.44 d	S _{4l1z1}	59.08 g	S _{3l1z1}	83.36 b	S _{2l1z1}	44.07 k	S _{1l1z1}
64.54 f	S _{4l1z2}	54.29 i	S _{3l1z2}	95.80 a	S _{2l1z2}	53.47 i	S _{1l1z2}
78.53 c	S _{4l2z1}	64.73 f	S _{3l2z1}	85.37 b	S _{2l2z1}	36.52 m	S _{1l2z1}
67.60 e	S _{4l2z2}	57.21 gh	S _{3l2z2}	96.22 a	S _{2l2z2}	67.18 o	S _{1l2z2}
55.53 hi	S _{4l3z1}	42.45 k	S _{3l3z1}	58.92 g	S _{2l3z1}	30.13 n	S _{1l3z1}
43.52 k	S _{4l3z2}	40.02 l	S _{3l3z2}	59.72 g	S _{2l3z2}	49.14 j	S _{1l3z2}
						20.26 hi	S ₀ (شاهد)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The averages with at least one letter common do not have a significant difference

نتایج مقدار عملکرد ماده خشک و میانگین وزن قارچ در تیمارهای آزمایش: نتایج مقایسه میانگین کارایی بیولوژیک قارچ تیمارهای آزمایش در جدول ۷ آمده است. بر اساس این نتایج بیشترین ماده خشک قارچ در تیمار $S_2I_2Z_2$ (۹/۳۰ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار $S_4I_3Z_1$ (۶/۱۹ درصد) مشاهده شد. ماده خشک قارچ در تیمار $S_2I_2Z_2$ در مقایسه با تیمار S_0 ، ۲۷/۳۹ درصد افزایش یافت (جدول ۷). کاربرد بیوچار باعث افزایش ماده خشک قارچ‌های خاک S_1 در سطح آماری پنج درصد و کاربرد بیوچار در سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد باعث کاهش مقدار ماده خشک شده است و افزایش سایز بیوچار در تمامی سطوح مقادیر بیوچار باعث کاهش میزان ماده خشک قارچ در این نوع خاک شده است. روند تغییرات ماده خشک در خاک S_2 با در سطوح پنج و ۱۰ درصد کاربرد بیوچار به صورت افزایشی و در سطح ۱۵ درصد کاربرد بیوچار روند تغییرات کاهشی بوده است. همچنین افزایش اندازه ذرات بیوچار باعث افزایش میزان ماده خشک قارچ در این نوع خاک شده است. افزودن بیوچار به خاک‌های S_3 و S_4 باعث کاهش مقدار ماده خشک قارچ در تمام سطوح شده است (جدول ۷). بنابراین نوع خاک پوششی بر مقدار ماده خشک قارچ تأثیرگذار است و بیوچار در هر نوع خاک اثر متفاوتی دارد.

درصد ماده خشک یک شاخص مهم برای کیفیت قارچ می‌باشد، زیرا بر ماندگاری قارچ اثر گذاشته و مناسب بودن آن برای مصرف را نشان می‌دهد (۲۸). مهم‌ترین شاخص برای بررسی ارزش غذایی قارچ‌های دکمه‌ای، میزان ماده خشک و رطوبت آن‌ها می‌باشد که مستقیماً بر محتوای مواد مغذی آن‌ها تأثیر می‌گذارد و چنانچه محتوای ماده خشک قارچ بیش‌تر باشد، کیفیت قارچ به دلیل غلظت مواد مغذی و ترکیبات مفید بهتر و ماندگاری بیش‌تر است (۲۹).

کالوزیج و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش کردند که بستر و نوع خاک پوششی از عوامل مؤثر بر درصد ماده خشک قارچ می‌باشند. میزان بالای ماده آلی خاک پوششی باعث رشد میکروارگانیسم‌های مضر و اختلال در کیفیت و کاهش محتوای ماده خشک قارچ می‌شود. که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۲۹).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از جدول، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزن هر قارچ به‌ترتیب در تیمارهای $S_2I_2Z_2$ (۲۸/۲۰ گرم) و $S_3I_3Z_1$ (۱۳/۹۱ گرم) به دست آمد. کاربرد بیوچار در خاک S_1 و S_3 باعث کاهش معنی‌دار میانگین وزن قارچ در تمام سطوح بیوچار شده است. در خاک S_2 با افزایش مقادیر بیوچار در سطوح پنج و ۱۰ درصد، میانگین وزن قارچ در اندازه ذرات ۱ تا ۲ میلی‌متر بیوچار افزایش معنی‌دار و در سطح ۱۵ درصد مقادیر بیوچار این میانگین کاهش معنی‌دار یافت. در خاک S_4 نیز افزودن بیوچار باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزن قارچ شده است ولی با افزایش سطوح مقادیر بیوچار روند تغییرات کاهشی بود به گونه‌ای که این میانگین در سطح پنج درصد مقدار بیوچار بیش‌تر از سطح ۱۵ درصد کاربرد بیوچار بوده است (جدول ۶). به عبارت دیگر افزودن بیوچار به خاک پوششی مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کمپوست برگشتی قارچ و ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کمپوست برگشتی قارچ باعث افزایش ته‌سنجاقی و تعداد قارچ و کاهش میانگین وزن هر قارچ شده است ولی کاربرد بیوچار در سطوح مقادیر ۵ و ۱۰ درصد به خاک مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کود گاوی باعث رشد قارچ‌های درشت با وزن بیش‌تر شده است و همچنین در خاک ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی با افزودن بیوچار، قارچ‌های درشت‌تری حاصل شد ولی در سطح پنج درصد مقدار

بیوپار، درشت و وزین بودن قارچ‌ها بارزتر بود. به نظر می‌رسد بیوپار باعث افزایش منافذ درشت در خاک‌های دارای کود گاوی شده است و این منافذ باعث خروج بیش‌تر CO_2 از خاک و کاهش ته‌سجاقی‌ها و در نهایت سنگین‌تر شدن وزن قارچ‌ها شده است.

مشابه نتایج این پژوهش، وارسته و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کردند که منافذ درشت خاک، نقش عمده در پخشیدگی و تبادل گازها ایفا می‌کنند. هرچه این منافذ فراوان‌تر بوده و از آب اشباع نباشد، پخشیدگی گازها بیش‌تر بوده و CO_2 از خاک پوششی خارج می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است که میسلیم قارچ از گاز CO_2 به عنوان منبع کربن استفاده می‌کند بنابراین با توجه به نقش CO_2 در ترغیب میسلیم به رشد بیش‌تر، با کاهش غلظت CO_2 در خاک پوششی ریشه‌دوانی کم‌تر شده و رشد میسلیم‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین ته‌سجاقی کم‌تری در مرحله رشدزایشی تشکیل خواهد شد و با وجود آب و مواد غذایی در دسترس، شرایط برای بزرگ‌تر شدن قارچ فراهم‌تر می‌شود (۳۰).

جدول ۷- مقایسه میانگین ماده خشک و میانگین وزن هر قارچ در تیمارهای آزمایش.

Table 7. Comparison of average dry matter and average weight of each mushroom in the experimental treatments.

میانگین وزن هر قارچ AMW (gr)	ماده خشک قارچ MDM (%)	تیمار Treatment	میانگین وزن هر قارچ AMW (gr)	ماده خشک قارچ MDM (%)	تیمار Treatment
26.20 b	9.40 a	S ₃ I ₀	24.40 c	8.12 c-f	S ₁ I ₀
20.02 fg	8.51 bc	S ₃ I ₁ Z ₁	21.08 ef	8.57 bc	S ₁ I ₁ Z ₁
19.87 fg	8.32 b-d	S ₃ I ₁ Z ₂	20.96 fg	8.24 c-e	S ₁ I ₁ Z ₂
19.42 gh	8.41 bc	S ₃ I ₂ Z ₁	16.90 jk	7.51 c-g	S ₁ I ₂ Z ₁
23.40 c	7.47 f-h	S ₃ I ₂ Z ₂	19.30 h-j	7.21 h-k	S ₁ I ₂ Z ₂
13.91 l	7.14 h-k	S ₃ I ₃ Z ₁	16.82 jk	6.70 i-l	S ₁ I ₃ Z ₁
18.22 h-j	6.98 h-k	S ₃ I ₃ Z ₂	17.20 jk	6.52 i-l	S ₁ I ₃ Z ₂
16.84 jk	8.12 c-f	S ₄ I ₀	20.28 fg	7.56 e-h	S ₂ I ₀
23.92 c	8.11 c-f	S ₄ I ₁ Z ₁	19.41 gh	8.32 b-d	S ₂ I ₁ Z ₁
25.87 b	7.87 c-g	S ₄ I ₁ Z ₂	24.40 c	8.99 ab	S ₂ I ₁ Z ₂
20.40 fg	7.41 f-i	S ₄ I ₂ Z ₁	19.91 fg	8.50 bc	S ₂ I ₂ Z ₁
22.28 de	7.31 h-k	S ₄ I ₂ Z ₂	28.20 a	9.30 a	S ₂ I ₂ Z ₂
17.92 j	6.19 l	S ₄ I ₃ Z ₁	15.80 k	6.98 h-k	S ₂ I ₃ Z ₁
14.51 k	6.42 jk	S ₄ I ₃ Z ₂	14.02 l	7.20 g-j	S ₂ I ₃ Z ₂
			17.99 ij	7.31 d-h	S ₀ (شاهد)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The averages with at least one letter common do not have a significant difference

نتایج تغییرات قطر کلاهک و افت وزن قارچ در تیمارهای آزمایش: نتایج مقایسه میانگین قطر کلاهک و افت وزن هر قارچ در تیمارهای آزمایش طی جدول ۸ آمده است. نتایج مقایسه میانگین قطر کلاهک هر قارچ نشان داد که در تیمار $S_4I_1Z_2$ بیشترین قطر کلاهک قارچ ($4/61$ سانتی‌متر) مشاهده شد. قطر کلاهک قارچ در این تیمار در مقایسه با تیمار شاهد (S_0) با قطر $3/78$ سانتی‌متر 83 درصد افزایش نشان داد و افزودن بیوجار به خاک پوششی در تمامی تیمارهای خاک‌های S_2 ، S_3 ، S_4 و S_1 به استثنای تیمار $S_1I_2Z_1$ ، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بر قطر کلاهک قارچ‌ها نداشت ولی نوع خاک بر قطر کلاهک قارچ اثر معنی‌دار داشت (جدول ۸). نوع خاک پوششی نقش تعیین‌کننده در تعداد ته سنجاقی قارچ ایجاد می‌کند و هر چه این تعداد در بستر کشت کم‌تر باشد به‌طور آشکار میزان دریافت مواد غذایی و آب جذب شده از بستر کشت بیش‌تر و رقابت کم‌تر می‌شود، بنابراین قطر کلاهک بزرگ‌تر می‌شود. بنابراین در این پژوهش، تفاوت قطر کلاهک قارچ‌ها در تیمارهای مختلف بیش‌تر ناشی از نوع خاک پوششی بوده است و کم‌تر تحت‌تأثیر سطوح مختلف بیوجار قرار گرفتند. اسکندری‌نیا و همکاران (2022)، گزارش کردند که قطر کلاهک قارچ‌های تحت تیمارهای مخلوط با بیوجار در سطوح مقادیر پنج، 10 و 15 درصد، در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود و با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (17).

نتایج مقایسه میانگین افت وزن هر قارچ در تیمارهای آزمایش نشان داد که تیمار $S_1I_3Z_1$ بیش‌ترین

افت وزن ($6/50$ درصد) را به خود اختصاص داد. کم‌ترین مقدار افت وزن قارچ نیز در تیمار $S_2I_2Z_1$ ($1/66$ درصد) مشاهده شد. افت وزن در قارچ‌های رشد یافته در خاک پوششی تجاری ($3/33$ درصد) نسبت به تیمار $S_2I_2Z_1$ دو برابر بیش‌تر بود. در تیمارهای خاک در سطوح مقادیر 10 و 15 درصد بیوجار و در خاک S_3 نیز در همان سطوح ولی در اندازه ذرات $2-1$ میلی‌متر اختلاف وزن معنی‌دار شد. کاربرد بیوجار در تمامی سطوح و اندازه ذرات $2-1$ میلی‌متر باعث افزایش معنی‌دار افت وزن قارچ در تیمارهای خاک S_2 شده بود. اختلاف افت وزن قارچ در تیمارهای خاک S_4 نسبت به خاک ورمی‌کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی نیز معنی‌دار بود (جدول ۸). وارسته و زمانی (2019) عمر انباری قارچ دکمه‌ای را در دمای معمولی یک تا سه روز و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد چهار تا هفت روز گزارش کرد. قارچ‌ها بسیار فسادپذیر هستند، ساختار اپیدرمی نازک و متخلخل و نرخ زیاد تنفس آن‌ها عامل فساد سریع پس از برداشتشان است. هم‌چنین به‌دلیل فعالیت زیاد آنزیم تیتروتیناز و وجود مقدار زیاد ترکیبات فنولی، قارچ مستعد کاهش کیفیت و ماندگاری می‌باشد (30). کوتاه بودن عمر نگهداری قارچ دکمه‌ای مانعی بزرگ برای گسترش و بازاریابی آن به شمار می‌آید. بنابراین حفظ کیفیت و کاهش افت وزن قارچ برای تولیدکننده مفید خواهد بود (28). براساس گزارش کالوزویچ (2017)، عمر انبارداری و ماندگاری قارچ با توجه نوع خاک پوششی مورد استفاده و نژاد قارچ، متفاوت خواهد بود که منطبق با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است (29).

جدول ۸- مقایسه میانگین قطر کلاهک و افت وزن قارچ در تیمارهای آزمایش.

Table 8. Comparison of average cap diameter and mushroom weight loss in experimental treatments.

افت وزن هر قارچ MDL (%)	قطر کلاهک قارچ MCD (cm)	تیمار Treatment	افت وزن هر قارچ MDL (%)	قطر کلاهک قارچ MCD (cm)	تیمار Treatment
2.83 g-j	4.20 a-c	S ₃ I ₀	3.33 e-i	2.98 c-e	S ₁ I ₀
3.83 c-g	3.52 a-e	S ₃ I ₁ Z ₁	3.83 c-g	3.22 b-e	S ₁ I ₁ Z ₁
3.83 c-g	3.48 a-e	S ₃ I ₁ Z ₂	2.83 g-j	4.00 a-d	S ₁ I ₁ Z ₂
5.16 a-c	3.51 a-e	S ₃ I ₂ Z ₁	1.83 j	4.51 ab	S ₁ I ₂ Z ₁
4.00 c-g	3.68 a-e	S ₃ I ₂ Z ₂	5.00 b-d	3.72 a-e	S ₁ I ₂ Z ₂
4.50 c-g	3.18 a-c	S ₃ I ₃ Z ₁	6.50 a	3.20 c-e	S ₁ I ₃ Z ₁
5.16 a-c	3.99 a-d	S ₃ I ₃ Z ₂	4.50 b-d	3.89 a-d	S ₁ I ₃ Z ₂
1.83 j	3.48 a-e	S ₄ I ₀	2.16 ij	3.14 c-e	S ₂ I ₀
3.66 d-h	4.18 a-c	S ₄ I ₁ Z ₁	1.83 j	3.11 c-e	S ₂ I ₁ Z ₁
5.16 a-c	4.61 a	S ₄ I ₁ Z ₂	6.00 ab	3.80 a-e	S ₂ I ₁ Z ₂
3.83 c-g	3.81 a-d	S ₄ I ₂ Z ₁	1.66 j	3.15 c-e	S ₂ I ₂ Z ₁
4.33 c-f	4.11 a-d	S ₄ I ₂ Z ₂	5.16 a-c	3.60 a-e	S ₂ I ₂ Z ₂
6.16 ab	3.21 b-e	S ₄ I ₃ Z ₁	2.33 h-j	2.99 c-e	S ₂ I ₃ Z ₁
3.00 f-j	2.85 de	S ₄ I ₃ Z ₂	4.00 c-g	2.50 e	S ₂ I ₃ Z ₂
			3.33 i-e	3.78 a-e	S ₀ (شاهد)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The averages with at least one letter common do not have a significant difference

نتیجه‌گیری کلی

ترکیب پیت شمال و ورمی‌کمپوست کودگاو با کاربرد پنج درصد وزنی بیوجار باعث افزایش ۷۱/۶۶ درصدی عملکرد کل قارچ نسبت به خاک پوششی تجاری و کاهش مصرف پیت شد و به عنوان یکی از فرمول‌های خاک پوششی در تولید قارچ توصیه می‌شود. همچنین افزودن بیوجار به تیمارهای مخلوط با کمپوست برگشتی قارچ یا ورمی‌کمپوست آن باعث افزایش تعداد قارچ و کاهش میانگین وزن هر قارچ شده است ولی کاربرد آن در مقادیر پنج و ۱۰ درصد به تیمارهای مخلوط با کود گاو یا ورمی‌کمپوست آن باعث رشد قارچ‌هایی با وزن بیش‌تر شده است. بااین‌حال، استفاده از بیوجار می‌تواند اثرات منفی تغییر

اقلیم را در اثر برداشت بی‌رویه آن کاهش و به افزایش عملکرد کمک کند اما کاربرد آن در مقادیر ۱۵ درصد وزنی به دلیل پیچیدگی و هزینه‌های بالای تولید بیوجار، صرفه اقتصادی ندارد و خصوصیات کمی و کیفی قارچ را نیز کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت دانشگاه شهرکرد و همکاری شرکت کشت و صنعت نگین فصل چهارم‌حال و بختیاری انجام شد. بدین‌وسیله از مساعدت دانشگاه شهرکرد و مدیریت و کارکنان شرکت کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Nadi, S., Farsi, M., Nemati, S. H., Aroi, H., & Davarinejad, G. (2017). Reuse of casing soil from button mushroom cultivation units. *Journal of Horticultural Sciences*, 28(4), 446-452. [In Persian]
2. Rajaei, P., Nateghi, L., & Zarei, F. (2022). The effect of modified atmosphere packaging with different gas compositions on the physicochemical properties and nutritional components of white button mushroom. *Iranian Journal of Food Sciences and Nutrition*, 20(1), 49-69. [In Persian]
3. Kheradpir, N., & Tanha, M. (2022). Diversity of arthropod pests and their ecological natural enemies in mushroom production units in Zarandieh region, Markazi province. *Journal of Applied Plant Protection*, 10(2), 67-80.
4. Manolikaki, I., Mangolis, A., & Diamadopoulos, E. (2016). The impact of biochars prepared from agricultural residues on phosphorus release and availability in two fertile soils. *Journal of environmental management*, 181, 536-543.
5. Rathod, M. G. (2023). Substrate dependent growth optimization of *Pleurotus florida* mushroom on inexpensive substrates. *World Journal of Biology Pharmacy & Health Sciences*, 13(1), 322-330.
6. Jasinska, A., Wojciechowska, E., Stoknes, K., & Roszak, A. (2022). Bioconversion of Agricultural Wastes into a Value-Added Product: Straw of Norwegian Grains Composted with Dairy Manure Food Waste Digestate in Mushroom Cultivation. *Journal of Applied Plant Protection*, 8(4), 331-343.
7. Pourjafari, A., Shojaian, A., Mohammadi Goltapeh, A., & Ayari, M. (2017). Evaluation of the possibility of using pistachio processing waste in the composition of the white button mushroom planting medium. *In Agronomy (Agricultural Journal of Abu Raihan Campus)*, 19(1), 43-53. [In Persian]
8. Jafari Haghighi, M., Ghorbani Dashtaki, Sh., Kalishadi, H., & Mossadeghi, M. R. (2022). Studying the effect of physical and chemical properties of different casing soils on quantitative and qualitative traits of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 54(2), 213-233. [In Persian]
9. Keestrea, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiftonell, P., Smith, P., Cerda, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2, 111-128. doi.org/10.5194/soil-2-111-2016.
10. Moradi, A., & Amini, M. (2015). Greenhouse gas emissions in Iran in year 2009. *Journal of transplanting Science*, 3(1), 55-63.
11. Khorramdel, S., Kouchaki, A., & Ebrahimian, A. (2023). Carbon sequestration: a sustainable solution for mitigating the effects of climate change. Second National Conference on Climate Change. September 14, 2023. Urmia. [In Persian]
12. Pattiya, A. (2011). Thermochemical characterization of agricultural wastes from Thai cassava plantations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33, 691-701.
13. Gumus, I., Negiş, H., & Şeker, C. (2022). Effects of two different biochar on physical quality characteristics of a heavy clay soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 841, 1-15.
14. Yadav, S. P. S., Bhandari, S., Bhatta, D., Poudel, A., Bhattarai, S., Yadav, P., ... & Oli, B. (2023). Biochar application: A sustainable approach to improve soil health. *Journal of Agriculture and Food Research*, doi:10.1016/j.jafr.2023.100498.
15. Hu, W., Di, Q., Liang, T., Liu, J., & Zhang, J. (2022). Effects of spent mushroom substrate biochar on growth of oyster mushroom (*Pleurotus*

- ostreatus). *Environmental Technology and Innovation*, 28, 102729. doi.org/10.1016/j.eti.2022.10272.
16. Mahari, W. A. W., Nam, W. L., Sonne, C., Peng, W., Peng, X. Y., Liew, R. K., Yek, P. N. Y., Lee, X. Y., Wen, O. W., Show, P. L., Chen, W., Chang, J., & Lam, S. (2020). Applying microwave vacuum pyrolysis to design moisture retention and pH neutralizing palm kernel shell biochar for mushroom production. *Environmental Technology and Innovation*, 312, 123572. doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123572.
17. Eskandarinia, R., Haj Abbasi, M. A., Shekelabadi, M., & Haghighi, M. (2022). Study of the effects of sugarcane bagasse, sugarcane bagasse with nitrogen and almond shell and their biochar on the physical and chemical properties of button mushroom casing soil. Master's thesis. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. Iran. [In Persian]
18. Rhoades, J. D. (1986). Soluble salts. In: Page AL Miller R.H and Keeney D.R (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2: Soil Science Society of America*. Madison. Wisconsin, Pp. 167-179.
19. Ahmadi, H., Sharifi, S., & Ahmadian, B. (2013). *Comprehensive Guide to Vermicompost Production*. Publications of the Agricultural Jihad Organization of West Azerbaijan Province. First edition, 20 p. [In Persian]
20. Rajaei, P., Nateghi, L., & Zarei, F. (2022). The effect of modified atmosphere packaging with different gas compositions on the physicochemical properties and nutritional components of white button mushroom. *Iranian Journal of Food Sciences and Nutrition*, 20(1), 49-69. [In Persian]
21. Raviv, M., & Lieth, J. H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. 1 ed. Elsevier, London, 624 p.
22. Gimenez, A. P., & Pardo-González, J. E. (2018). Evaluation of casing materials made from spent mushroom substrate and coconut fibre pith for use in production of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(4), 683-690. doi.org/10.5424/sjar/2008064-361.
23. Liang, T., Qing, D. I., & Zhang, J.I.E. (2022). Effects of spent mushroom substrate biochar on growth of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Environmental Technology and Innovation*. 28, 102729. doi.org/10.1016/j.eti.2022.102729.
24. Soltani, A. (2011). *Application of statistical software in statistical analyses*. Second edition. Mashhad: Mashhad University Jihad Publications. [In Persian]
25. Zeid, D. C., Pardo-Gonzales, J. E., Minhoni, M. T. A., & Pardo-Gimenez, A. (2011). A reliable quality index for mushroom cultivation. *Journal of Agricultural Science*, 3, 50-61.
26. Taghizadeh, M., Gowen, A., Ward, P., & Donnell, C. P. (2010). Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films. *Innov. Food Science. Technol.* 11(3), 423-431.
27. Rahmanipour, R., Sadrabadi Haghighi, R., & Janpour, J. (2018). Evaluation of the effect of different compositions of casing soils on the yield and quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Horticultural Sciences*, 32(1), 137-148. [In Persian]
28. Farsi, M., & Pourianfar, H. R. (2011). *Cultivation and improvement of white button mushroom*. Mashhad: Mashhad University Jihad Publications. [In Persian]
29. Kaluzewicz, A., Sobieralski, K., Frąszczak, B., Golak Siwulska, I., & Miran, D. (2017). The influence of the strain, flush and size of carpophores on the yield and dry matter content of button mushroom (*Agaricus bisporus*) carpophores. *Nauka Przyroda Technologie*, 10(2), 1-9.
30. Varaste, F., & Zamani, N. (2019). The effect of different packaging films on the maintenance and quality characteristics of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(4), 1035-1044.

