

بهبود عملکرد قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی تحت تأثیر کاربرد بیوجار

چکیده

در ایران منابع طبیعی خاک پوششی پیت محدود بوده و پیامدهای محیط زیستی فراوانی در اثر برداشت آن ایجاد می‌گردد. این پژوهش با هدف بررسی کاربرد بیوجار در ترکیب خاک پوششی و تأثیر آن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد قارچ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۹ تیمار در سال ۱۴۰۳ اجرا شد.

بر این اساس، ترکیبات اولیه خاک پوششی از جمله پیت شمال، ورمی کمپوست پیت شمال، ورمی کمپوست کود گاوی و ورمی کمپوست قارچ مصرف شده تهیه شد. سپس به هر ترکیب مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی بیوجار اضافه و تیمارهای مختلف تهیه شد. پس از تهیه خاک پوششی و کشت قارچ، برداشت محصول انجام و از تیمارها نمونه خاک تهیه شد. ویژگی‌های pH، EC، OM خاک پوششی و عملکرد قارچ اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در تمامی خاک‌های مورد بررسی با افزایش مقدار بیوجار، pH، EC و OM خاک پوششی افزایش یافت و عملکرد قارچ با pH و OM خاک پوششی همبستگی مثبت معنی‌دار و با EC همبستگی منفی و معنی‌دار دارد و هرچه شوری خاک پوششی کمتر باشد عملکرد بیشتری دارد. نتایج کلی نشان داد که تیمارهای مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی از لحاظ شوری کمتر و عملکرد بالا نسبت به دیگر تیمارها برتری داشتند. کاربرد بیوجار اهمیت بسزایی در افزایش مقدار ماده آلی خاک دارد و از لحاظ اقتصادی در بین سطوح مختلف بیوجار، افزودن ۵ درصد وزنی بیوجار به خاک، در افزایش ماده آلی موثر است و بالا بودن ماده آلی خاک پوششی منجر به بهبود عملکرد قارچ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پیت شمال، کود گاوی، ماده آلی، ورمی کمپوست.

Improving the yield of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by changing the chemical properties of casing soil under the influence of biochar application

ABSTRACT

In Iran, natural peat casing soil resources are limited and its harvesting has many environmental consequences. This study aimed to investigate the use of biochar in casing soil composition and its effect on the chemical properties of casing soil and the yield of mushrooms cultivated in it as a factorial in a completely randomized design with 29 treatments in 2024. Accordingly, the initial casing soil compositions including north production peat, northern production peat vermicompost, cow manure vermicompost, and spent mushroom vermicompost were prepared. Then, 5, 10, and 15 percent of biochar was added to each composition and different treatments were prepared. After preparing the casing soil, treatments usage and cultivating the mushroom. The characteristics of the pH, EC, and OM of the soil and the mushroom yield were measured. The results of this study showed that in all the studied soils, with increasing biochar, the pH, EC, and OM of the casing soil increased, and the mushroom yield had a significant positive correlation with the pH and OM of the casing soil and a significant negative correlation with the EC. The overall results showed that treatments mixed with cow manure vermicompost were superior to other treatments in terms of lower salinity and high yield. The use of biochar is importance in increasing soil organic matter, and economically, among different levels of biochar, adding 5% by weight of biochar to the soil is effective in increasing organic matter, and high organic matter in the casing soil leads to improved mushroom yield.

Keywords: cow manure, north production peat, organic matter, vermicompost.

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به غذای سالم استفاده بهینه از منابع تولید غذا را اجتناب ناپذیر نموده است. امروز قارچ‌های خوراکی سهم بسزایی در سبد غذایی بشر دارند (محمدی گل تپه و همکاران، ۱۳۸۳). بر اساس آمارهای جهانی، تولید قارچ‌های خوراکی در سراسر جهان بالغ بر ۱۰ میلیون تن و سهم قارچ دکمه‌ای از آن ۳۶ درصد است (FAO, 2019). یکی از بخش‌های مهم در تولید و پرورش قارچ دکمه‌ای، خاک پوششی است که معمولاً از منابع آلی تجدیدناپذیر (پیت) استخراج می‌شود. در ایران منابع طبیعی پیت برای استفاده خاک پوششی محدود بوده و علاوه بر هزینه فراوان برای تهیه آن، مشکلات محیط زیستی فراوانی در اثر برداشت آن ایجاد می‌شود (جعفری حقیقی و همکاران، ۱۴۰۱). مشکلات مصرف پیت باعث شکل گرفتن منابع بیشتر برای یافتن یک ترکیب جایگزین با کارایی قابل قبول گردیده است. فرایند برداشت درازمدت از ذخایر پیت، حجم زیادی کربن وارد اتمسفر می‌کند و تا مدت‌ها آزادسازی کربن ادامه دارد. انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای از عواملی است که بر سرعت به وجود آمدن پدیده تغییر اقلیم تأثیر می‌گذارد (Noble et al., 2004). وجود ضایعات و بقایای گیاهی بعد از برداشت محصولات باغی و زراعی مشکلات زیادی برای کشاورزان بوجود می‌آورد. از جمله راهکارهای استفاده از بقایای کشاورزی، گرماکافت آنها است. بیوپار حاصل از گرماکافت^۱ ضایعات آلی به عنوان اصلاح کننده پایدار در خاک به کار می‌رود، این ماده جامد، سیاه رنگ، غنی از کربن پایدار و متخلخل با سطح ویژه بالا است (Gumus et al., 2022). بیوپار باعث تثبیت کربن در خاک می‌شود و علاوه بر آن می‌تواند بر کیفیت شیمیایی خاک اثرگذار باشد و موجب تغییر در ویژگی‌های آن از جمله ماده آلی گردد. بیوپار در خاک‌های کشاورزی با ذخیره کربن باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود (Giannetta et al., 2023). نتایج کاربرد بیوپار در ترکیب خاک پوششی نشان دهنده تأثیرات مثبت آن است اما مطالعات اندکی در مورد اثر افزودن بیوپار به خاک پوششی در تولید و پرورش قارچ انجام شده است. بر این اساس پژوهش حاضر به بررسی اثرات مقدار و اندازه ذرات بیوپار حاصل از مخلوط ضایعات هرس درختان آلو و نار بر ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی با ترکیبات مختلف و عملکرد قارچ دکمه‌ای در دانشگاه شهرکرد و کارخانه تولید کمپوست و قارچ نگین فصل شهرکرد انجام گرفت.

پیشینه پژوهش

در مراحل تولید قارچ، پس از آنکه میسلیم‌های قارچ درون کمپوست به صورت مناسبی رشد کرد و پوششی سفید رنگ در سطح بستر تشکیل شد، پوشانیدن سطح بستر با لایه‌ای برخوردار از مشخصه‌های ساختاری ویژه و مرطوب از اهمیت زیادی برخوردار است که اصطلاحاً آن را خاک پوششی می‌نامند (Stamets & Chilton, 1983). خاک پوششی مانع خشک شدن بستر کاشت شده، محیط مرطوب مناسبی برای تشکیل مرحله ته سنجاقی فراهم نموده، آب لازم برای رشد قارچ را تأمین کرده و همچنین برای تحریک پریمودیا و تشکیل هاگ در تولید قارچ دکمه‌ای ضروری است (Gimenez & Pardo-González, 2008). یک خاک پوششی استاندارد باید به گونه‌ای باشد که بتواند پشتیبان چین‌های برداشت متوالی قارچ باشد. برای نیل به این اهداف، خاک پوششی باید دارای pH خنثی، قابلیت هدایت الکتریکی پائین، غنی از مواد آلی، بدون آلودگی میکروبی و بافت مناسب باشد (Stamets & Chilton, 1983).

افزودن بیوپار به خاک پوششی حاوی پیت و کربنات کلسیم به صورت معنی‌داری باعث افزایش pH نسبت به خاک‌های فاقد بیوپار شد و استفاده از بیوپار به میزان ۱۰ درصد وزنی در ترکیب خاک پوششی باعث تولید بیشترین عملکرد محصول شد (Bechara et al., 2009). افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک را بر اثر کاربرد بیوپار حاصل از بقایای کاه گندم، شلتوک برنج، خاک اره، باگاس نیشکر و خوشه خرما گزارش نمودند (Banitalebi et al., 2021). کاربرد دراز مدت بیوپار میزان pH را از ۶/۳ به ۷/۷ در خاک لوم رسی به عمق ۰/۴ افزایش داد (Idbella et al., 2024). نتایج پژوهش ایرانمنش و همکاران (۱۳۹۶) نیز حاکی از آن است که بیوپار گردو تأثیر چندانی بر pH خاک نداشت و تا حدودی سبب کاهش pH شد. اما این کاهش معنی‌دار نبود. استفاده بیش از حد از بیوپار می‌تواند pH خاک را فراتر از محدوده ایده‌آل برای محصولات، بالا ببرد و بر دسترسی به مواد مغذی تأثیر بگذارد و به طور بالقوه حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول را کاهش دهد (Li et al., 2024).

افزودن بیوپار باگاس نیشکر تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در سطوح ۰/۲، ۰/۵ و ۱ در صد وزنی، سبب افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل آنیونی و کاتیونی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد (Deoband Hafeshjani et al., 2016). حضور بیوپار ضایعات هرس درختان میوه در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری تأثیر معنی‌داری بر ماده آلی و منجر به افزایش ۱/۲۲ برابری آن نسبت به تیمار شاهد شد (Vahedi et al., 2019). اسکندری‌نیا و همکاران (۱۴۰۱)، طی مطالعه‌ای با هدف تولید خاک پوششی از بیوپار باگاس نیشکر بدون نیتروژن، باگاس نیشکر با نیتروژن و پوسته بادام در سطوح مختلف جهت جایگزینی در صدی از پیت مشخص شد که بیوپار باعث کاهش ماده آلی در خاک پوششی نسبت به تیمار شاهد شده است. هفشجانی و همکاران (۱۳۹۷)، بیان داشتند که کاربرد بیوپار باگاس نیشکر به عنوان یک منبع کربنی بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شن علاوه بر تأثیر مثبت بر میزان مواد آلی خاک، بر سایر خصوصیات شیمیایی آن نیز تأثیر مثبت دارد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در دانشگاه شهرکرد و کارخانه تولید کمپوست و قارچ نگین فصل واقع در شهرستان شهرکرد در سال ۱۴۰۳ انجام شد. بر این اساس، ترکیبات اولیه خاک پوششی از جمله پیت شمال، ورمی‌کمپوست پیت شمال، ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC تهیه شد. سپس برای تهیه تیمارهای آزمایشی به هر ترکیب خاک پوششی مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی بیوپار مخلوط و تیمارهای مختلف خاک پوششی با دوره انکوباسیون ۲۰ روز تهیه شدند. پس از تهیه تیمارها و عملیات بارگیری کمپوست در سالن پرورش قارچ به هر متر مربع بستر کشت ۳۲ کیلوگرم خاک پوششی با ضخامت ۴ سانتی‌متر اضافه شد و با نمونه‌برداری از هر کرت آزمایشی، pH، قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار ماده آلی خاک پوششی و عملکرد قارچ اندازه‌گیری شد. بیوپار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دانش بنیان فصل پنجم واقع در استان فارس که طی فرآیند گرماکافت تولید شده بود، تهیه شد. بیوپار در شرکت نامبرده، از حرارت ترکیب شاخه‌های ناشی از هرس درختان آلو و انار با طول ۵۰ و قطر ۴ سانتی‌متر، درون کوره صنعتی با ظرفیت ۱۰ تن و در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد به مدت نگهداری ۳ ساعت در شرایط عدم حضور اکسیژن حاصل شد. بیوپار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دانش بنیان فصل پنجم واقع در استان فارس تهیه شد. بیوپار تهیه شده از الک ۲ میلی‌متر عبور داده و ویژگی‌های شیمیایی pH و قابلیت هدایت الکتریکی به روش عصاره‌گیری با نسبت ۱ به ۵ آب به بیوپار به ترتیب با دستگاه pH متر و EC² متر (Rhoades, 1996)، پتاسیم به روش شعله سنجی (Nadson et al., 1982)، فسفر به روش رنگ سنجی زرد (Chapman & Pratt, 1961)، نیتروژن به روش میکرو کلدال (Bremner, 1996)، کلسیم و منیزیم به وسیله دستگاه جذب اتمی (Huang & Morel, 1989) و OC³ به روش والکی و بلک (Walkley & Black, 1934) اندازه‌گیری شد.

برای تولید ورمی‌کمپوست نیز ۱۷۰ کیلوگرم از هر کدام از ترکیبات کود گاوی، کمپوست برگشتی قارچ دکمه‌ای و پیت شمال و ۶۰ کیلوگرم بیوپار به عنوان مواد اولیه ترکیب خاک پوششی تهیه شد. به منظور پوساندن کود گاوی و SMC تهیه شده، در یک محل مناسب هر کدام جداگانه انباشته شدند. برای توزیع هوا و فرآیند تجزیه هوازی، به‌طور منظم ترکیبات توده آن‌ها مخلوط و رطوبت کافی به آن اضافه می‌شد. به این ترتیب کود گاوی با گذشت یک‌سال و SMC با گذشت شش ماه تحت تأثیر حرارت و رطوبت تجزیه و به‌طور کامل پوسیده شدند. پس از آماده شدن ترکیبات مورد نیاز در خاک پوششی به هر سبد پلاستیکی با ابعاد ۵۰ × ۸۰ و عمق ۲۵ سانتی‌متر، مقدار ۳۰ کیلوگرم از هر کدام از ترکیبات افزوده شدند. به ازای هر سبد ۱۰۰ عدد کرم خاکی قرمز (*Eisenia feotida*) در عمق ۱۵ سانتی‌متری بستر رها شدند 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 سبد، ورمی‌کمپوست مواد اولیه خاک پوششی از جمله کود گاوی، کمپوست برگشتی قارچ دکمه‌ای و پیت شمال آماده

برداشت شدند. ورمی کمپوست 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 (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

طرح 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 بیوپار در چهار سطح و اندازه ذرات بیوپار در دو سطح و در سه تکرار و تیمار شاهد (خاک پوششی مورد استفاده در کارخانه) با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و SMC با نسبت وزنی برابر در سه تکرار، در مجموع ۲۹ تیمار با ۸۷ کرت آزمایش انجام شد.

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 ورمی کمپوست SMC 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 SMC به نسبت وزنی ۵۰ درصد، و S_4 : ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد بود. فاکتور مقدار بیوپار شامل چهار سطح L_0, L_1, L_2 و L_3 به ترتیب با مقادیر صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی و فاکتور اندازه ذرات بیوپار شامل ۲ سطح Z_1 و Z_2 (ذرات ۰-۱ و ۱-۲ میلی‌متر) بود. سطوح فاکتورهای آزمایش بشرح زیر بود:

S_0 خاک پوششی مورد استفاده در کارخانه نگین فصل با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و SMC و نسبت وزنی برابر (شاهد)، S_1 مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست SMC 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 SMC به نسبت وزنی ۵۰ درصد، S_4 ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد، I_0 عدم کاربرد بیوپار در خاک پوششی (شاهد)، L_1 کاربرد ۵ درصد وزنی بیوپار یا ورمی کمپوست بیوپار، L_2 کاربرد ۱۰ درصد وزنی بیوپار یا ورمی کمپوست بیوپار، L_3 کاربرد ۱۵ درصد وزنی بیوپار یا ورمی کمپوست بیوپار، Z_1 اندازه ذرات بیوپار ۰-۱ میلی‌متر، Z_2 اندازه ذرات بیوپار ۱-۲ میلی‌متر است.

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 نمونه خاک انتخاب شدند. نتایج پژوهش جعفری حقیقی و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که جایگزینی ورمی کمپوست کود گاوی و ورمی کمپوست SMC به جای پیت و تیمارهای معمول خاک پوششی منجر به صرفه‌جویی در هزینه و حفظ منابع طبیعی می‌شود که استفاده از ۵۰ درصد ورمی کمپوست کود گاوی و ورمی کمپوست SMC ضمن افزایش ۶۳ درصدی عملکرد کل و کارایی بیولوژیک نسبت به تیمار پیت شمال و همچنین کاهش ۵۰ درصدی مصرف پیت، باعث باردهی سریع‌تر و کاهش طول دوره رشد شد. بدین منظور برای تولید خاک پوششی، پیت شمال، کود گاوی، کمپوست برگشتی پرورش قارچ شش ماهه و بیوپار حاصل از مخلوط ضایعات هرس درختان آلو و انار و ورمی کمپوست آن‌ها تهیه شدند. سپس با توجه به تیمارهای آزمایش مقادیر لازم بیوپار به فرمول‌های خاک پوششی مورد استفاده، اضافه شد. ترکیب تیمارها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: ترکیب تیمارهای آزمایش

کد	تیمار	کد	تیمار	کد	تیمار	کد	تیمار	کد	تیمار
۱	S_{1l_0}	۸	S_{2l_0}	۱۵	S_{3l_0}	۲۲	S_{4l_0}	۲۹	S_0 (خاک پوششی تجاری - شاهد)
۲	$S_{1l_1Z_1}$	۹	$S_{2l_1Z_1}$	۱۶	$S_{3l_1Z_1}$	۲۳	$S_{4l_1Z_1}$		
۳	$S_{1l_1Z_2}$	۱۰	$S_{2l_1Z_2}$	۱۷	$S_{3l_1Z_2}$	۲۴	$S_{4l_1Z_2}$		
۴	$S_{1l_2Z_1}$	۱۱	$S_{2l_2Z_1}$	۱۸	$S_{3l_2Z_1}$	۲۵	$S_{4l_2Z_1}$		
۵	$S_{1l_2Z_2}$	۱۲	$S_{2l_2Z_2}$	۱۹	$S_{3l_2Z_2}$	۲۶	$S_{4l_2Z_2}$		
۶	$S_{1l_3Z_1}$	۱۳	$S_{2l_3Z_1}$	۲۰	$S_{3l_3Z_1}$	۲۷	$S_{4l_3Z_1}$		
۷	$S_{1l_3Z_2}$	۱۴	$S_{2l_3Z_2}$	۲۱	$S_{3l_3Z_2}$	۲۸	$S_{4l_3Z_2}$		

کشت و برداشت محصول در آزمایش

ابتدا کمپوست تولید شده شامل کودمرغی، باگاس نیشکر، سنگ گچ و کاه و کلش گندم، به ترتیب به مقدار ۵، ۱۰، ۳۵ و ۵۰ درصد حجمی، در تونل پاستوریزه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت پاستوریزه شد. سپس برای آمونیاک‌زدایی در تونل به مدت ۸۰ ساعت و در دمای ۴۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از آن طی ۲۴ ساعت دمای آن 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 شد. در هر بستر کشت (ستون) به ابعاد ۱۸۰×۱۶۰ cm، تعداد ۱۲ بلوک کمپوست با ابعاد ۶۰×۴۰×۴۰ cm و ارتفاع ۲۰ cm قرار گرفت، که بدین ترتیب در هر مترمربع ۷۰ کیلوگرم کمپوست استفاده شد. 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 داده شد، توسط دستگاه‌های رطوبت‌ساز و تهویه به نحوی تنظیم گردید که رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد، غلظت CO_2 داخل سالن ۲۰۰۰ ppm و دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. رطوبت کم در این مرحله باعث خشک شدن کمپوست و نیاز به آبیاری را افزایش می‌دهد. از آنجایی که آبیاری مستقیم کمپوست مشکل‌ساز می‌باشد، رطوبت نسبی محیط بالا نگه داشته شد تا نیاز به آبیاری کمتر شود.

خاک‌های پوششی تهیه شده مناسب با تیمارهای آزمایشی پس از پاستوریزه شدن به وسیله بخار آب در تونل‌های پاستوریزه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار گرفتند. زمانی که ۷۰ درصد بستر کمپوست از میسلیم‌های قارچ پوشیده شده بود، مرحله خاک‌دهی شروع شد. جهت مبارزه با عوامل قارچی و حشرات احتمالی، خاک‌ها توسط محلول کاربندازیم ۱ درصد و دیازینون ۲ درصد ضدعفونی شدند و در هر متر مربع بستر کشت، ۳۲ کیلوگرم خاک پوششی با ضخامت ۴ سانتی‌متر به شرح تیمارهای آزمایش به صورت ککینگ اضافه شد. در روش ککینگ به منظور 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 شد. 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 گاز کربنیک 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 شد. پس از گذشت ۷ روز از زمان انجام شوک سرمایی، اولین اندام‌های ته‌سجاقی تشکیل شدند و برداشت قارچ آغاز شد. برداشت محصول در سه مرحله و در مدت ۲۵ روز طول کشید و دما و رطوبت سالن در این مرحله به ترتیب در ۱۹ درجه سانتی‌گراد و ۸۵ درصد کنترل شد. زمان اولین مرحله برداشت ۱۱ روز پس از هوادهی بود. پروسه تولید قارچ از ابتدا تا انتها در مدت زمان ۶۰ روزه انجام گرفت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک پوششی

در این پژوهش بلافاصله پس از مرحله خاک‌دهی به کمپوست، از هر کرت آزمایشی نمونه‌برداری از خاک پوششی توسط استوانه فلزی با قطر و ارتفاع به ترتیب ۴/۵ و ۵ سانتی‌متر انجام و به آزمایشگاه انتقال داده شد. pH و قابلیت هدایت الکتریکی پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک دو میلیمتری، و مقدار ماده آلی نمونه‌ها به روش سوزاندن خشک اندازه‌گیری شد.

pH در عصاره سوپانسیون ۱ به ۵ خاک به آب مقطر با استفاده از pH متر (Metrohm) اندازه‌گیری شد (Raviv & Lieth, 2008). قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره صاف شده ۱ به ۵ خاک به آب با استفاده از دستگاه هدایت سنج مدل سی ۵۰۱ المیرون (C 501 Elmeiron) اندازه‌گیری شد (Raviv & Lieth, 2008).

مقدار ماده آلی به روش سوزاندن خشک از طریق هضم یک گرم نمونه آون خشک در کوره و در دمای ۵۴۰ درجه سانتی گراد و با استفاده از رابطه (۲) اندازه گیری شد، اختلاف کاهش وزن نشانگر سوختن کربن آلی است که به صورت CO₂ خارج می شود (Ball & Schjønning, 2002).

$$\% (OM) = \frac{(ODW - AW)}{ODW} * 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن OM: ماده آلی بر حسب درصد، ODW: وزن آون خشک، AW: وزن خاکستر است.

ارزیابی عملکرد کل قارچ دکمه‌ای

در هر مرحله برداشت قارچ، شاخص‌های عملکرد قارچ درجه یک (بافت متراکم، کلاهک پشت بسته و وضعیت ظاهری خوب و عالی)، عملکرد قارچ درجه دو (بافت نیمه متراکم، کلاهک پشت باز و وضعیت ظاهری متوسط)، با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم، اندازه‌گیری و عملکرد کل از مجموع عملکرد قارچ درجه یک و دو محاسبه شد (Kerketta et al., 2018).

آنالیزهای آماری

با توجه به نتایج بدست آمده از انجام آزمایش ابتدا نرمال بودن نتایج با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تست شد. برای بررسی نتایج تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی و عملکرد قارچ در تیمارهای آزمایش آنالیز واریانس (ANOVA) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ (p<0.05) انجام گرفت. برای مشخص نمودن اثرات اصلی تیمارها و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های مورد مطالعه، تجزیه واریانس سه عامله انجام شد. تجزیه‌های آماری و تعیین ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک پوششی و عملکرد قارچ دکمه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (سلطانی، ۱۳۹۰).

یافته‌های پژوهشی و بحث:

برخی از ویژگی‌های شیمیایی بیوجار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی بیوجار مورد استفاده در این پژوهش

OM	Mg	Ca	K	P	N	C/N	pH	EC (dS.m ⁻¹)
(%)								
۵۹/۷	۵/۷۷	۴/۲۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۷۹	۱۰/۲	۸/۱	۲/۱۰

EC: قابلیت هدایت الکتریکی، pH: واکنش، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، N: نیتروژن، P: فسفر، K: پتاسیم، Ca: کلسیم، Mg: منیزیم، OM: مقدار ماده آلی.

بیوجار مورد استفاده در این پژوهش دارای pH برابر با ۸/۱ و EC برابر با ۲/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود که هیچ گونه محدودیتی برای افزودن آن به خاک پوششی ندارد. بیشینه pH و EC خاک پوششی را به ترتیب ۹ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب پیشنهاد کردند (Zeid et al., 2011). خصوصیات شیمیایی خاک پوششی را این چنین اعلام کرد که حد بهینه pH، در صد کلسیم و نیتروژن خاک پوششی به ترتیب بادیستی در محدوده ۷/۱-۸/۲، ۴-۲/۵ و ۰/۸-۰/۷ باشد (نادی، ۱۳۹۶).

بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای خاک پوششی

نتایج آنالیز واریانس خصوصیات شیمیایی تیمارهای خاک‌های پوششی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی

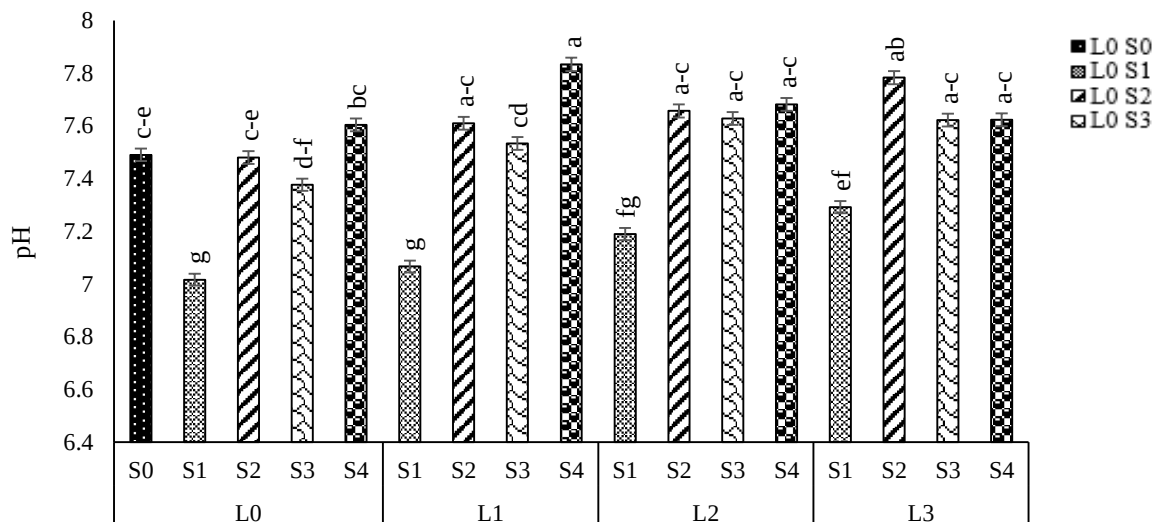
منابع تغییرات	درجه آزادی	pH -	EC (dS.m ⁻¹)	OM (%)
میانگین مربعات				
S	۳	۱/۰۸۶**	۱۱/۹۸۳**	۷۶/۳۴۲**
L	۳	۰/۰۲۹ ^{ns}	۰/۲۵۰**	۸۰/۳۳۹**
Z	۱	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۵/۶۲۸*
L × S	۶	۰/۰۶۱*	۰/۰۶۱*	۱۰۶/۶۴۷**
Z × S	۳	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۲۵۷ ^{ns}	۵۰/۴۲۵**
Z × L	۲	۰/۰۳۶ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۱/۱۰۰ ^{ns}
Z × L × S	۶	۰/۰۲۹ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۶/۳۰۸**
خطا	۴۸	۰/۰۲۴	۰/۰۳۰	۱/۳۹۱

**؛ معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ (P<۰/۰۱)، *؛ معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵)، و ^{ns} غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵).
S: نوع خاک، L: مقدار بیوجار، Z: اندازه ذرات بیوجار، pH: واکنش خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، OM: مقدار ماده آلی.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک در سطح آماری ۱ درصد و اثر متقابل آن در مقدار بیوجار در سطح آماری ۵ درصد بر pH خاک پوششی معنی‌دار است. سایر تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر pH خاک پوششی ندارند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این جدول، اثر نوع خاک و مقدار بیوجار در سطح آماری ۱ درصد بر EC خاک پوششی معنی‌دار است و سایر تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر EC خاک پوششی ندارند. همچنین اثر نوع خاک و مقدار بیوجار و اثرات متقابل در سطح آماری ۱ درصد و اثر اندازه ذرات بیوجار در سطح آماری ۵ درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح آماری ۱ درصد بر ماده آلی خاک معنی‌دار بود.

نتایج تغییرات pH خاک پوششی در تیمارهای آزمایش

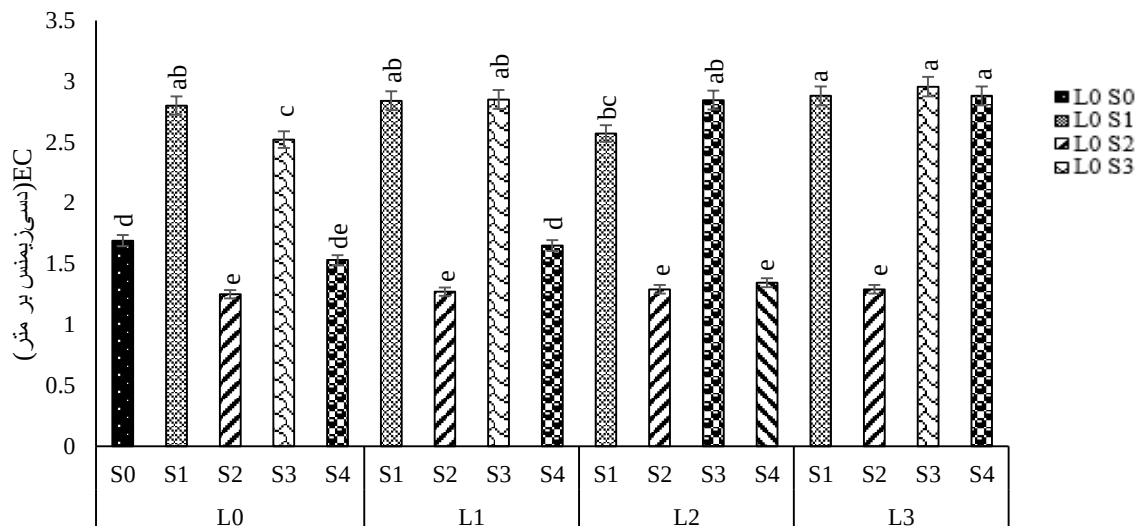
نتایج مقایسه میانگین pH تیمارهای آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. روند تغییرات pH خاک پوششی با کاربرد بیوجار در هر ۴ نوع خاک S₁، S₂، S₃ و S₄ افزایشی بود اما این افزایش معنی‌دار نبود (شکل ۱). مشابه یافته‌های این پژوهش، نتایج پژوهش دیگر پژوهشگران نشان داد که بیوجار تأثیر چندانی بر pH خاک نداشت و تا حدودی موجب افزایش pH شد اما این افزایش معنی‌دار نبود. درجه اسیدیته خاک پوششی نقش مهمی در رشد قارچ ایفا می‌کند (Liang et al., 2022). در یک خاک پوششی بیش از حد اسیدی یا قلیایی رشد میسلیوم مختل می‌گردد. دستورالعمل ثابتی برای pH مناسب خاک پوششی برای رسیدن به محصول بیشینه وجود ندارد. اما با توجه به پژوهش‌ها، میانگین pH مناسب خاک پوششی ۶/۷ تا ۷/۷ است (متقی، ۱۳۹۷). بنابراین pH تیمارهای این آزمایش با افزودن بیوجار برای تولید و پرورش قارچ مناسب است.



شکل ۱: مقایسه میانگین pH خاک پوششی در تیمارهای آزمایش
S: نوع خاک، L: مقدار بیوجار، Z: اندازه ذرات بیوجار.

نتایج تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک پوششی در تیمارهای آزمایش

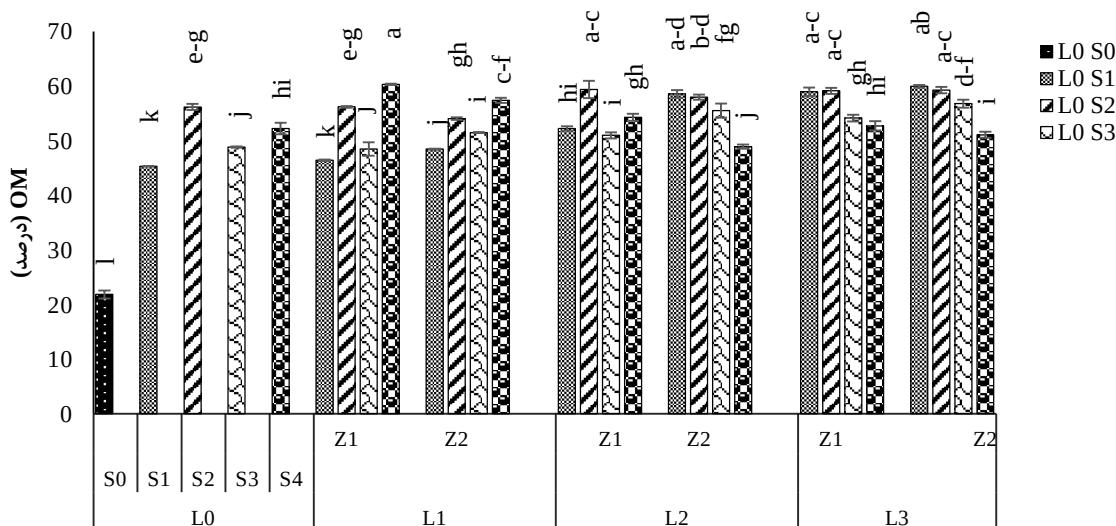
نتایج مقایسه میانگین EC تیمارهای آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از نتایج مقایسه میانگین، در تمامی خاک‌های مورد بررسی با افزایش مقدار بیوجار، قابلیت هدایت الکتریکی خاک پوششی افزایش یافت. بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به تیمار مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست SMC با کاربرد ۱۵ درصد وزنی بیوجار با مقدار ۲/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به تیمار ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و کود گاوی با کاربرد ۱۰ درصد وزنی بیوجار بود، که فاقد اختلاف معنی‌دار با اغلب تیمارهای حاوی ورمی کمپوست کود گاوی است. به عبارتی دیگر، شوری در تیمارهای حاوی ورمی کمپوست SMC نسبت به تیمارهایی که مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی بودند بیشتر بود و افزایش شوری در آن‌ها با کاربرد بیوجار معنی‌دار بود. تجمع نمک به مرور زمان یک پدیده طبیعی در بستر قارچ است. همچنین کاهش محصول در چین‌های دوم به بعد، احتمالاً به علت افزایش تجمع نمک‌های خارج شده از بستر قارچ است (Flegg, 1961). نبوی نیا و ملکوتی (۱۳۹۲) بیان داشتند که به دلیل وجود املاح زیاد کلسیم، منیزیم و پتاسیم در بیوجار، این ماده قابلیت هدایت الکتریکی بالایی دارد بنابر این استفاده از بیوجار سبب افزایش شوری خاک می‌گردد. تأثیر بیوجار بر افزایش میزان قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به شاهد به دلیل قابلیت بیوجار در جمع‌آوری مواد مغذی خاک به واسطه سطح ویژه بالای آن است که مطابق با نتایج این پژوهش بود (Dong et al., 2015).



شکل ۲: مقایسه میانگین EC خاک پوششی در تیمارهای آزمایش
S: نوع خاک، L: مقدار بیوپار، Z: اندازه ذرات بیوپار.

نتایج تغییرات ماده آلی خاک پوششی در تیمارهای آزمایش

نتایج مقایسه میانگین OM تیمارهای آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از نتایج، بیشترین مقدار ماده آلی در تیمار S_{4L1Z1} (۶۰/۳۱ درصد) و کمترین مقدار ماده آلی در تیمار S_0 (۲۱/۸۴ درصد) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که در خاک مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست SMC به نسبت وزنی ۵۰ درصد، با افزایش مقدار بیوپار، مقدار ماده آلی به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که مقدار ماده آلی در تیمار S_{1L2Z2} (۵۹/۹۷ درصد) در مقایسه با تیمار S_{1L0} (۴۵/۳۱ درصد)، ۳۲/۳۵ درصد افزایش یافت (شکل ۳). در تیمارهای S_1 و S_3 ، کاربرد بیوپار باعث افزایش معنی دار مقدار ماده آلی شد و نسبت به مقدار بیوپار، مقدار ماده آلی نیز افزایش داشت. همچنین مقدار ماده آلی تیمارهایی با اندازه ذرات ۱ تا ۲ میلی متری نسبت به تیمارهایی با اندازه ذرات ۰ تا ۱ میلی متری بیوپار در یک مقدار مشخص بیوپار، بیشتر بود. کاربرد بیوپار در خاک S_2 نیز باعث افزایش ماده آلی شده که این افزایش در سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد مقدار بیوپار معنی دار و مقدار OM در یک مقدار مشخص بیوپار در تیمارهایی با اندازه ذرات ۰ تا ۱ میلی متر بیشتر از تیمارهایی با اندازه ذرات ۱ تا ۲ میلی متری بیوپار بود. در تیمارهای خاک S_4 نیز افزودن بیوپار منجر به افزایش معنی دار مقدار OM در سطح ۵ و ۱۰ درصد مقدار بیوپار شد ولی روند تغییرات با افزایش مقدار بیوپار کاهش می بود به نحوی که بیشترین مقدار ماده آلی در تیمارهایی با مقدار ۵ درصد بیوپار بود (شکل ۳). مشابه این نتایج برخی پژوهشگران بیان داشتند که بیوپار در خاکهای کشاورزی با ذخیره کربن باعث افزایش ماده آلی خاک می شود (Giannetta et al., 2023). بیوپار چوب کاج باعث افزایش کربن و جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و کربن در خاکهای آهکی می شود (Akbar et al., 2024). حضور بیوپار ضایعات هرس درختان میوه در خاک ریزو سفری و غیرریزو سفری تأثیر معنی داری بر ماده آلی و منجر به افزایش ۱/۲۲ برابری آن نسبت به تیمار شاهد شد (Vahedi et al., 2019). مقدار کربن آلی موجود در خاکدانه ها تحت تأثیر بیوپار افزوده شده به خاک قرار می گیرد. البته این موضوع به اندازه ذرات بیوپار بستگی دارد. زمانی که اندازه ذرات بیوپار بزرگ تر باشد، افزایش در مقدار کربن خاکدانه های درشت دیده می شود و اگر اندازه ذرات بیوپار کوچک تر باشد (کمتر از ۲۵۰ میکرون)، تغییری در مقدار کربن خاکدانه های درشت دیده نشده است (Fungoa et al., 2017). مقدار ماده آلی بالا در خاکهای تیمار شده با بیوپار توسط (Solomon et al., 2007) و (Liang et al., 2006) نیز گزارش شده است.



شکل ۳: مقایسه میانگین OM خاک پوششی در تیمارهای آزمایش
S: نوع خاک، L: مقدار بیوپار، Z: اندازه ذرات بیوپار.

بررسی تغییرات عملکرد قارچ دکمه‌ای

نتایج تجزیه واریانس عملکرد قارچ دکمه‌ای در جدول ۴ آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نوع خاک، مقدار بیوپار، اندازه بیوپار و اثرات متقابل آنها بر عملکرد قارچ در سطح آماری ۱ درصد معنی دار است.

جدول ۴: تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات آگرومورفولوژیکی قارچ دکمه‌ای

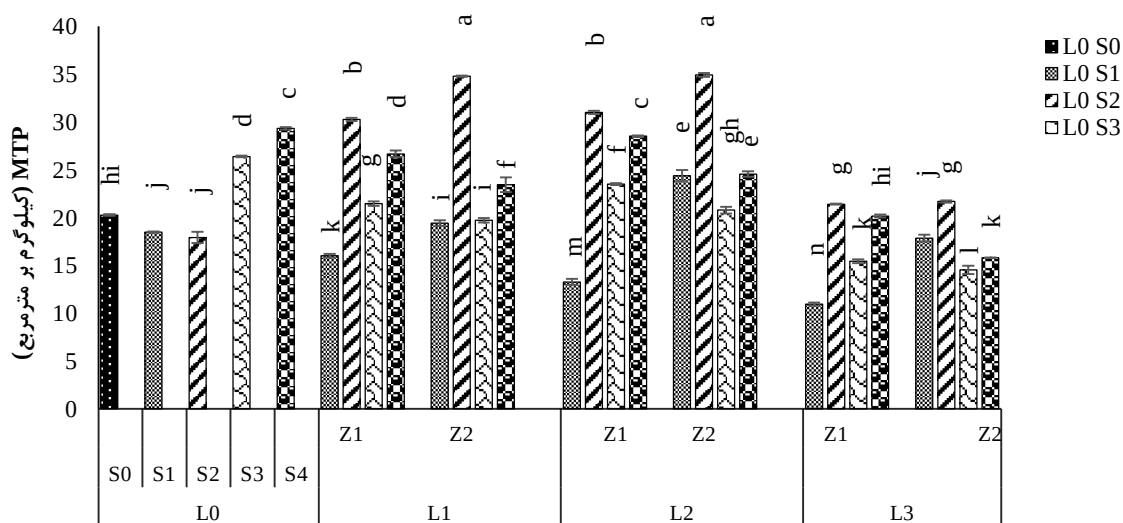
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کل قارچ (kg.m ⁻²)
میانگین مربعات		
نوع خاک	۱	۵۰۰/۳۲۵**
مقدار بیوپار	۲	۴۳۶/۳۳۷**
اندازه ذرات بیوپار	۱	۲۲/۰۳۴*
نوع خاک × مقدار بیوپار	۶	۱۹/۱۰۰**
نوع خاک × اندازه ذرات بیوپار	۳	۱۰۹/۰۴۷**
مقدار بیوپار × اندازه ذرات بیوپار	۲	۴/۴۶۴**
نوع خاک × مقدار بیوپار × اندازه ذرات بیوپار	۶	۹/۲۰۰**
خطا	۴۸	۰/۲۷۶

** معنی داری در سطح احتمال ۱٪ (P<۰/۰۱)، * معنی داری در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵)،

و NS: غیر معنی دار در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵).

نتایج مقایسه میانگین عملکرد قارچ دکمه‌ای تیمارهای آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین مشخص شد که افزودن بیوپار به خاک باعث افزایش عملکرد کل قارچ می‌شود. در این پژوهش، بیشترین عملکرد کل قارچ در تیمار S₂L₂Z₂ (۳۴/۹۳ کیلوگرم بر متر مربع) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی دار با تیمار S₂L₁Z₂ (۳۴/۷۸ کیلوگرم بر متر مربع) بود. عملکرد کل قارچ در تیمارهای S₂L₂Z₂ و S₂L₁Z₂ در مقایسه با تیمار S₀ به ترتیب ۷۲/۴۰ و ۷۱/۶۶ درصد افزایش یافت. کمترین عملکرد کل قارچ نیز در تیمار S₁L₃Z₁ (۱۰/۹۴ کیلوگرم بر متر مربع) به دست آمد. در خاک S₁ افزودن بیوپار در سطوح ۵ و ۱۰ درصد مقادیر و اندازه ذرات ۱-۲ میلی متری بیوپار باعث افزایش معنی دار عملکرد کل قارچ

و در تیمارهایی با اندازه ذرات ۱-۰ میلی‌متری بیوپار باعث کاهش معنی‌دار شد ولی افزودن بیوپار در سطح ۱۵ درصد مقادیر بیوپار، عملکرد کل قارچ را کاهش داد. در خاک S₂ افزودن بیوپار باعث افزایش معنی‌دار این ویژگی شد که در سطوح ۵ و ۱۰ درصد مقادیر بیوپار و اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متری این افزایش بارزتر بود. در خاک‌های S₃ و S₄ نیز روند تغییرات با افزایش بیوپار به طور معنی‌دار کاهشی بود (جدول ۵). یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش با برخی پوهشگران همخوانی دارد که گزارش کردند که افزودن بیوپار هسته خرما به بستر قارچ خوراکی سبب افزایش سطح رطوبت و کوتاه شدن دوره رشد میسیلیوم و افزایش عملکرد آن می‌شود (Mahari et al., 2020). بیوپار با حفظ رطوبت بستر و کاهش از دست دادن مواد مغذی، می‌تواند بازده تولید قارچ صدفی (*Pleurotus ostreatus*) را افزایش دهد (Liang et al., 2006). بر اساس گزارش اسکندری نیا و همکاران (۱۴۰۱)، عملکرد تیمار بیوپار پوسته بادام در سطح ۵ درصد وزنی در مقایسه با پیت مر سوم با ترکیب پیت شمال، پیت جنوب و SMC به طور معنی‌داری بیشتر بود که منطبق با نتایج بدست آمده در این پژوهش بود.



شکل ۴: مقایسه میانگین عملکرد قارچ دکمه‌ای در تیمارهای آزمایش

S: نوع خاک، L: مقدار بیوپار، Z: اندازه ذرات بیوپار

همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک پوششی و عملکرد قارچ دکمه‌ای

نتایج برقراری ارتباط آماری بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک پوششی و صفات آگرومورفولوژیک قارچ دکمه‌ای، از طریق ضریب همبستگی پیرسون، در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: جدول همبستگی صفات آگرومورفولوژیک قارچ دکمه‌ای با ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی

MTP (kg.m ⁻²)	
۰/۳۵**	pH
-۰/۶۴**	EC
۰/۳۵**	OM

***: معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ (P<۰/۰۱)، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵)،

ns: غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (P<۰/۰۵).

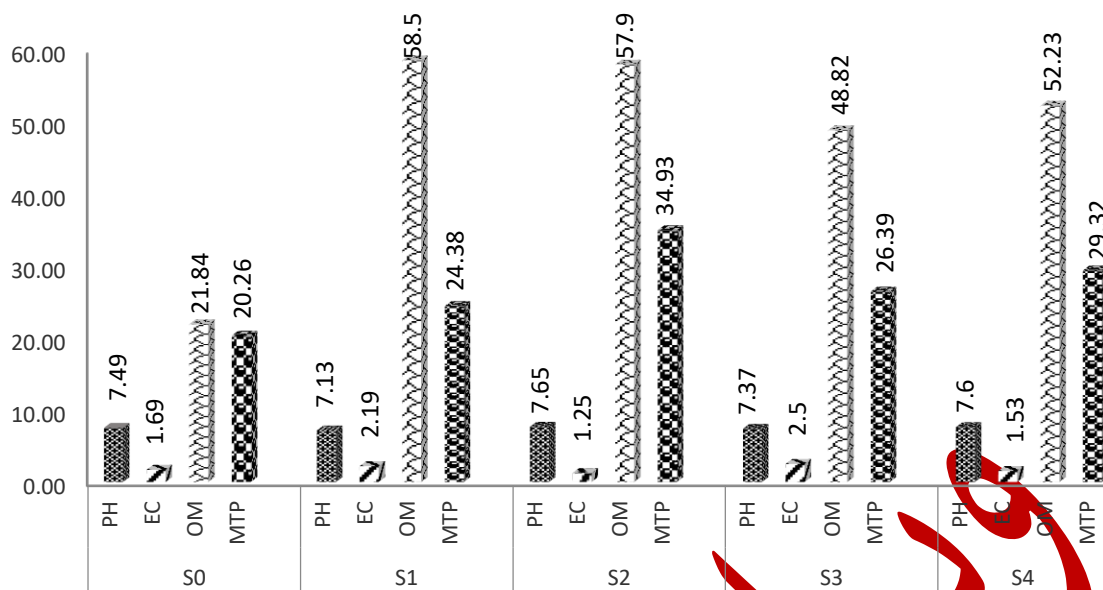
pH: واکنش خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، OM: مقدار ماده آلی، BE: کارایی بیولوژیک، MTP: عملکرد کل قارچ.

نتایج همبستگی عملکرد قارچ دکمه‌ای با ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی نشان داد که عملکرد قارچ با pH و OM خاک پوششی همبستگی مثبت و معنی‌دار و با EC همبستگی قوی منفی و معنی‌دار دارد. در این پژوهش، خاک پوششی با قابلیت هدایت الکتریکی کمتر در افزایش عملکرد با کاربرد بیوپار تأثیرگذارتر بود. این نتایج با مطالعات Hayes (1981) همخوانی دارد، که بیان داشت که شوری کم برای رشد اندام باردهی مناسب است. اگر خاک پوششی دارای هدایت الکتریکی زیادی باشد، میوه‌دهی قارچ مهار شده و عملکرد کاهش می‌یابد (Dias et al., 2021). خاک‌های حاوی نمک‌های محلول کم (هدایت الکتریکی کم) برای تولید قارچ بهتر بود (Bechara et al., 2014). سطح آستانه شوری مطلوب برای لایه پوششی را ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر (Perdo et al., 2004) و ۶-۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر (Gimenez & Gonzalez, 2008) پیشنهاد دادند.

هدایت الکتریکی زیاد منجر به کاهش پتانسیل اسمزی در خاک پوششی شده و جذب آب توسط میسلیم‌ها صورت نمی‌گیرد. در نتیجه میسلیم‌ها ضعیف و شکننده شده، توان ضخیم شدن و ایجاد ته‌سنگجاقی را از دست می‌دهد؛ بنابراین تعداد ته‌سنگجاقی‌های ظاهر شده در سطح خاک کاهش می‌یابد (پیوست و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین در شوری زیاد، سطح خاک سفت شده و ادامه رشد غیرممکن می‌شود. علاوه بر شوری زیاد، باعث تولید مواد قندی برای غلبه بر پتانسیل اسمزی کم (منفی)، افزایش ماده خشک، کاهش رطوبت قارچ دکمه‌ای سفید و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (جعفری حقیقی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج جعفری و خسروشاهی (۱۳۹۸) نشان داد، اسیدیته لایه پوششی به تدریج بر اثر تراوش مواد اسیدی میسلیم‌های قارچ، رفته رفته تا انتهای برداشت، اسیدی می‌شود و ترکیباتی مانند پیت به دلیل اسیدیته پایین و ورمیکمپوست به دلیل چسبندگی بالا، به طور منفرد برای پرورش قارچ دکمه‌ای مناسب نیستند. هدایت الکتریکی بالای خاک پوششی باعث می‌شود پس از آبدی، چسبندگی بالایی پیدا کند و عملکرد را به طور قابل توجهی کاهش دهد (Dias et al., 2021). در این پژوهش، عملکرد قارچ با OM خاک پوششی همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. مشابه این نتایج (Oldfield et al., 2019)، همبستگی مثبتی میان مقدار ماده آلی خاک و عملکرد گندم و ذرت را مشاهده کردند. بالا بودن مقدار ماده آلی خاک می‌تواند منجر به بهبود عملکرد گیاه شود، به طوریکه با افزایش هر یک درصد کربن آلی خاک، میزان عملکرد محصولات زراعی ۳۰ تا ۵۰ میلیون تن در سال افزایش می‌یابد (Lal, 2006).

بررسی چگونگی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی و عملکرد قارچ دکمه‌ای

چگونگی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی و عملکرد قارچ دکمه‌ای در خاک‌های پوششی مختلف با در نظر گرفتن تیماری که بیشترین عملکرد قارچ را داشته و ویژگی‌های شیمیایی مربوط به خاک پوششی همان تیمار در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: نمودار چگونگی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی و عملکرد قارچ S: نوع خاک، pH واکنش خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، OM: مقدار ماده آلی، MTP: عملکرد کل قارچ دکمه‌ای.

بر اساس نتایج بدست آمده از این نمودار، بیشترین عملکرد قارچ دکمه‌ای در تیمار خاک S₂ با ترکیب S₂l₂z₂ و عملکرد ۳۴/۹۳ کیلوگرم بر متر مربع مشاهده شد که نسبت به عملکرد قارچ دکمه‌ای در خاک پوششی تجاری (S₀) ۷۲/۴۰ درصد افزایش داشت. در تیمار خاک S₄ نیز با ترکیب S₄l₀ و عملکرد ۲۹/۳۲ کیلوگرم بر متر مربع علیرغم اینکه نسبت به تیمار مربوط به خاک پوششی S₂ عملکرد ۱۸ درصد کاهش داشت ولی به دلیل کاهش ۵۰ درصدی حجم پیت مصرفی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. بیشینه pH و EC خاک پوششی را به ترتیب ۹ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب است (Zied et al., 2011) و با توجه به اینکه pH و EC در تمامی تیمارهای خاک‌های پوششی مورد مطالعه بدون محدودیت بودند می‌توان با مقایسه کلی چگونگی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک پوششی و عملکرد قارچ دکمه‌ای، تیمارهای S₂l₂z₂ و S₄l₀ را به عنوان فرمول‌های مناسب برای تهیه خاک پوششی پیشنهاد نمود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها:

نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین مقادیر EC در تیمارهایی با خاک S₃ (ورمی کمپوست مخلوط پیت شمال و SMC به نسبت وزنی ۵۰ درصد) و کمترین مقادیر EC نیز در تیمارهایی با خاک S₂ (مخلوط پیت شمال و ورمی کمپوست کود گاوی به نسبت وزنی ۵۰ درصد) به دست آمد عبارتی تیمارهایی که دارای ترکیب ورمی کمپوست کود گاوی بودند قابلیت هدایت الکتریکی کمتری نسبت به دیگر تیمارها داشتند. با توجه به همبستگی قوی منفی و معنی‌دار عملکرد قارچ با قابلیت هدایت الکتریکی، در تیمارهای با قابلیت هدایت الکتریکی کمتر، عملکرد بالاتری مشاهده شد. بنابراین تیمارهای مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی از لحاظ شوری کم خاک و عملکرد بالا نسبت به خاک پوششی تجاری و دیگر تیمارها برتری دارند. کاربرد بیوجار در ترکیب خاک پوششی می‌تواند اهمیت بسزایی در افزایش مقدار ماده آلی خاک داشته باشد. کاربرد بیوجار اهمیت بسزایی در افزایش مقدار ماده آلی خاک دارد و از لحاظ اقتصادی در بین سطوح مختلف بیوجار، افزودن ۵ درصد وزنی بیوجار به خاک، در افزایش ماده آلی موثر است و بالا بودن ماده آلی خاک پوششی منجر به بهبود عملکرد قارچ می‌شود.

منابع

- ۱- احمدی، حمید؛ شریفی، سعید و احمدیان، بهنام. (۱۳۹۲). *راهنمای جامع تولید ورمی کمپوست*. انتشارات سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی. چاپ اول. ۲۰ صفحه.
- ۲- اسکندری نیا، راضیه. (۱۴۰۱). مطالعه اثرات باگاس نیشکر، باگاس نیشکر با نیتروژن و پوسته بادام و بیوچار آن ها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پوششی قارچ دکمه‌ای. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ایران.
- ۳- ایرانمنش، مهدیه؛ پژوهش، مهدی و قرهی، نسرين. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر بیوچار پوست گردو بر فرسایش بادی با استفاده از تونل باد (مطالعه موردی: دشت شهرکرد). *کنفرانس بین المللی مدیریت منابع طبیعی در کشورهای در حال توسعه*. ۳۰ بهمن ماه. کرج.
- ۴- جعفری حقیقی، مجتبی؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ کلیشادی، حمید و صدقی، محمدرضا. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های پوششی مختلف بر صفات کمی و کیفی قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*). *مجله علوم باغبانی ایران*. ۲۱۳-۲۳۳: (۲) ۵۴.
- ۵- سلطانی، افشین. (۱۳۹۰). کاربرد نرم افزارهای آماری در تجزیه‌های آماری. ویراست دوم. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۶- متقی، حسین. (۱۳۹۷). *قارچ تکمه‌ای تکنولوژی پرورش، شناسایی و کنترل آفات و بیماری‌ها*. انتشارات سپهر تهران. ۳۵۲ صفحه.
- ۷- محمدی گل تپه، ابراهیم و پورجم، ابراهیم. (۱۳۸۳). *اصول پرورش قارچ‌های خوراکی*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران. سرزمین سبز ماهنامه اقتصادی. آذر. ۹۶۳۳. سال پنجم. شماره ۷۴. ص.
- ۸- نادى، سعید؛ فارسی، محمد؛ نعمتی، حسین؛ آروینی، حسین و داوری نژاد، غلامحسین. (۱۳۹۶). استفاده مجدد از خاک پوششی مصرف شده واحدهای پرورش قارچ دکمه‌ای. *نشریه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد*. ۲۸ (۴): ۴۴۶-۴۵۲.
- ۹- نبوی نیا، محمد و ملکوتی، حسین. (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر دو نوع کمپوست بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد ذرت. *نشریه حفاظت آب و خاک ایران*. ۲: ۱۴۳-۱۵۰.
- ۱۰- هفشجانی، لاله؛ ناصری، عبدعلی؛ هوشمند، عبدالرحیم؛ عباسی، فریبرز و محمدی، امیر. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی. *مجله علوم و مهندسی آبیاری*. ۴۰ (۱): ۶۳-۷۲.
- 11- 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 pages. (in Persian).
- 12- Akbar, W. A., Rahimi, H. U., Irfan, M., Alatalo, J. M., Mudassir, M., & Bundschuh, J. (2024). Effects of incorporating pine-woodchip biochar with reduced NP fertilizer on calcareous soil characteristics, organic carbon, NPK availability, and maize productivity. *Journal of Soils and Sediments*, 24(1), 177-188.
- 13- Ball, B.C., & Schjønning, P. (2002). Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods. *Soil Science Society of America*, pp. 1141-1158.
- 14- Banitalebi, G., Mosaddeghi, M. R., & Shariatmadari, H. (2019). Feasibility of agricultural residues and their biochars for plant growing media: Physical and hydraulic properties. *Waste management*. 87: 577-589.
- 15- Bechara M., Heinemann P.H., Walker P.N., Demirsi A., & Romaine C.P. (2009). Evaluating the addition of activated carbon to heat-treated mushroom casing for grain-based and compost-based substrates. *Bioresource Technology*, 100: 4441-4446.
- 16- Bremner, J.M. (1996). "Nitrogen-Total." In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 17- Chapman, H.D., & Pratt, P.F. (1961). *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. University of California, Division of Agricultural Sciences.
- 18- Dias, E. S., Zied, D. C., & Pardo-Gimenez, A. (2021). Revisiting the casing layer: Casing materials and management in *Agaricus* mushroom cultivation. *Ciência e Agrotecnologia*, 45. <https://doi.org/10.1590/1413-70542021450001R21>.
- 19- Dong, Q., Feng, K., McGrouther, M., Yang, H., Wang, W., & Wu, D. (2015). Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field. *Journal of Soils and Sediments*, 15:153-162.

- 20- Eskandarinia, R. (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 cover soil. *Master's thesis*. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. Iran. (in Persian).
- 21- FAO. (2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations Agriculture Statistics*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed May 29, 2020.
- 22- Flegg, P.B. (1961). The accumulation of soluble salts in the casing layer of mushroom beds. *Jornal Hortical Science*, 36: 139–144.
- 23- Fungoa, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thiongo, M., Okeyo, I., Tenywa, M., & Neufeldt, H. (2017). Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under conventional hand-hoe tillage. *Soil and Tillage Research*, 165: 190–197.
- 24- Giannetta, B., Plaza, C., Cassetta, M., Mariotto, G., Benavente, I., Carlos, J., Panettieri, M., & Zaccone, C. (2023). The effects of biochar on soil organic matter pools are not influenced by climate change. *Journal of Environmental Management*, 341. 118092.8 page.
- 25- Giménez, A. P., & Pardo-González, J. E. (2008). 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. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008064-361>.
- 26- 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.
- 27- Hafeshjani, L., Naseri, A., Houshmand, A., Abbasi, F., & Soltani Mohammadi, A. (2016). Investigating the effect of sugarcane bagasse biochar on the chemical properties of a sandy loam soil. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40, 72-63. (In Persian with English abstract).
- 28- Hayes, W.A. (1981). Interrelated studies of physical, chemical and biological factors in casing soils and relationships with productivity in commercial culture of *Agaricus bisporus*. *Agricultural Sciences*, 11: 103-129.
- 29- Huang, C. P., & Morel, F. M. M. (1989). The speciation and bioavailability of trace metals in aquatic systems. *Environmental Science & Technology*, 37(1), 29-38.
- 30- Idbella, M., Baronti, S., Giagnoni, L., Renella, G., Becagli, M., Cardelli, R., ... & Bonanomi, G. (2024). Long-term effects of biochar on soil chemistry, biochemistry, and microbiota: Results from a 10-year field vineyard experiment. *Applied Soil Ecology*, 195, 105217.
- 31- Iranmanesh, M., Pahoezh, M., & Gharahi, N. (2017). Investigating the effect of walnut shell biochar on wind erosion using a wind tunnel (case study: Shahrekord plain). *International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries*, 19 February. Karaj. (in Persian).
- 32- Jafari Haghighi, M., Ghorbani Dashtaki, Sh., Kalishadi, H., & Mosadeghi, M. (2012). Studying the effect of physical and chemical properties of different cover soils on quantitative and qualitative traits of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 54(2), 213-233. (in Persian).
- 33- Kerketta, A., Pandey, N. K., Singh, H.K., & Shukla, C.S. (2018). Effect of Straw Substrates and Casing Materials on Yield of Milky Mushroom (*Calocybe indica* P and C.) Strain CI-524. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 317–322.
- 34- Lal, R. (2006). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17:197-209.
- 35- Li, B., Guo, Y., Liang, F., Liu, W., Wang, Y., Cao, W., ... & Guo, J. (2024). Global integrative meta-analysis of the responses in soil organic carbon stock to biochar amendment. *Journal of Environmental Management*, 351, 119745.
- 36- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kingangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.Y., Petersen, J., & Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in Soils. *Soil Science and Society of American Journal*, 70:1719-1730. doi.org/10.2136/sssaj2005.0383.
- 37- 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*, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102729>.
- 38- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123572>.
- 39- Mohammadi Goltapeh, E., & Pourjam, E. (2004). *Principle's of mushroom cultivation*. 4rd Ed. Tehran: Tarbiat Modarres University Press (In Persian).

- 40- Mottaqi, H. (2018). *Button mushroom cultivation technology, identification and control of pests and diseases*. Sepehr Publications, Tehran. 352 pages. (in Persian).
- 41- Nabavinia, M., & Malkooti, H. (2013). Evaluation of the effect of two types of compost on physical and chemical properties of soil and corn yield. *Iranian Journal of Soil and Water Conservation*, 2: 143-150. (in Persian).
- 42- Nadi, S., Farsi M., Nemati S., Arooyee H., & Davarinejad G. H. (2015). Renewd use of spent mushroom compost of white button mushroom culture units . *Journal of Horticultural Science*, 28 (4), 446-452. (in Persian).
- 43- Noble, R., & Dobrovin-Pennington, A. (2004). Partial substitution of peat in mushroom casing whit fine particle coal tailings. *Scientia Horticulturae*, 104: 351-367.
- 44- Oldfield, E.E., Bradford, M.A., & Wood, S.A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5: 15-32.
- 45- Raviv, M., & Lieth, J.H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. 1 ed. Elsevier. London. 624 Page.
- 46- Rhoades, J. D. (1996). *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.
- 47- Solomon D., Lehmann J., Thies J., Schafer T., Liang B., Kinyangi J., Neves E., Petersen J., Luiz F., & Skjemstad, J. (2007). Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian dark earths. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 71: 2285-2298.
- 48- Soltani, A. (2011). *Application of statistical software in statistical analyses*. Second edition. Mashhad: Mashhad University Jihad Publications. (in Persian).
- 49- Stamets, P., & Chilton, J. S. (1983). *The mushroom cultivator: a practical guide to growing mushroom at home*. Washington: First Washington.
- 50- Vahedi, R., Sadaghiani, M. H. R., & Barin, M. (2019). The effect of fruit trees pruning waste biochar on some soil biological properties under rhizobox conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 23(1), 321-335.
- 51- Walkley, A. & Black, I.A. (1934). "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method." *Soil Science*. 37(1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-0000>.
- 52- 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.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Casing soil is an important input in the production of the button mushroom, which is usually prepared from non-renewable organic sources (peat). This study was conducted to investigate the use of biochar in casing soil composition and its effect on the chemical properties of casing soil and the yield of cultivated mushrooms.

Method

This study was conducted in a completely randomized design with 29 treatments and three replications on an industrial scale in Negin Fasl Agro-industry. Accordingly, the initial soil casing compositions including north production peat, north production peat vermicompost, cow manure vermicompost, and SMC vermicompost were prepared. Then, biochar was added to each soil casing composition to prepare experimental treatments and different soil casing treatments were prepared.

Experimental design and treatment application

The experiment was conducted in a completely randomized factorial design with three factors: type of casing soil at four levels, biochar application rate at four levels, and biochar particle size at two levels, with three replications. A control treatment (the casing soil used in the mushroom production facility).

The casing soil type factor consisted of four levels (S₁, S₂, S₃, and S₄), which were respectively S₁: mixture of north production peat and SMC vermicompost in a weight ratio of 50 percent, S₂: mixture of north production peat and cow manure vermicompost in a weight ratio of 50 percent, S₃: vermicompost mixture of north production peat and SMC in a weight ratio of 50 percent, and S₄: vermicompost mixture of north production peat and cow manure in a weight ratio of 50 percent. The biochar amount factor consisted of four levels L₀, L₁, L₂ and L₃ with values of 0, 5, 10 and 15 Weight percent respectively and the biochar particle size factor consisted of two levels Z₁ and Z₂ (0-1 and 1-2 mm particles).

Measuring casing soil properties

In this study, immediately after Step of adding casing soil, a soil sample was taken from each experimental plot. The pH and EC were measured using a pH meter and EC meter after air-drying the samples and passing them through a 2 mm sieve. The organic matter content was determined by the dry combustion method.

Evaluation of the overall performance of button mushrooms

At each harvest stage, yield parameters of first-grade mushrooms (firm texture, closed cap, and good to excellent appearance) and second-grade mushrooms (semi-firm texture, open cap, and average appearance) were measured using a scale with 0.01 g precision. Total yield was calculated as the sum of the yields of first-grade and second-grade mushrooms.

Statistical analyses

Statistical analyses and determination of correlation coefficients between measured casing soil characteristics and button mushroom yield were performed using SPSS software.

Results

The effect of biochar application on casing soil pH showed an increasing trend in all four soil types S₁, S₂, S₃ and S₄, but this increase was not significant. In all studied soils, with increasing biochar content, casing soil EC increased. The highest electrical conductivity was associated with the S₁L₃Z₁ treatment with a value of 2.99 dS.m⁻¹ and the lowest electrical conductivity was associated with the S₄L₂Z₁ treatment. Which has not significant difference with most treatments containing cow manure vermicompost. Therefore, casing soil with lower electrical conductivity was more effective in increasing yield with biochar application. Also, the highest average organic matter content was obtained in the S₄L₁Z₁ treatment (60.31%) and the lowest organic matter content was obtained in the S₀ treatment (21.84%). The high soil organic matter content led to improved mushroom performance.

Conclusions

Overall, the results indicated that the highest EC values were observed in treatments containing soil S₃, while the lowest EC values were found in treatments with soil S₂. Therefore, the mixtures containing vermicompost from cow manure exhibited lower soil salinity and higher yield compared to the commercial casing soil and other treatments. The application of biochar in the casing soil mixture can play a significant role in increasing the soil organic matter content. Economically, among the different biochar levels tested, the addition of 5% (w/w) biochar to the soil was effective in enhancing organic matter. Increased organic matter in the casing soil.

Author Contributions

For this research article, the individual contributions are as follows: Conceptualization, [Author A] and [Author B], [Author C] and [Author D]; methodology, [Author B]; software, [Author C]; validation, [Author A], [Author B], and [Author C]; formal analysis, [Author A] and [Author D]; investigation, [Author B]; resources, [Author A]; data curation, [Author B]; writing original draft preparation, [Author C]; writing review and editing, [Author B]; visualization, [Author A]; supervision, [Author B]; project administration, [Author C]; funding acquisition, [Author A]. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available. For further inquiries regarding the data, please contact author's email.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

بازرسی نشده