University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Effects of Physical and Chemical characteristics of Different Casing Soils on Quantitative and Qualitative Characteristics of Button Mushroom (Agaricus bisporus)

Mojtaba Jafari Haghighi[1], Shoja Ghorbani Dashtaki[2]✉, Hamid Kelishadi[3], Mohammad Reza Mosaddeghi[4]

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mjafarihaghighi@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ghorbani-sh@sku.ac.ir
3. Director of Development and Research of Negin Fasl Agro-Industry Company, Shahrekord, Iran. E-mail: kelishadi.h@gmail.com
4. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: mosaddeghi@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 3 September 2022

Received: 19 February 2023

Accepted: 26 February 2023

Published online: 22 June 2023

Keywords:

Biological efficiency,

Casing soil,

relative field capacity,

Spent mushroom compost,

Vermicompost.

ABSTRACT

Casing soil is an important input in the production of the button mushroom, which is usually prepared from non-renewable organic sources (e.g., peat). In order to introduce a suitable alternative to peat, and also the effect of different casing soils on quantitative and qualitative characteristics of button mushroom this study was carried out.

The reaserch was conducted in a completely randomized design with 20 treatments and three replications on an industrial scale in Negin Fasl Agro-industry Company. In this respect, different alternative materials, such as mixed cow manure, spent mushroom compost (SMC), cow manure vermicompost, and SMC vermicompost in different volume ratios with peat)preaperd from north of Iran, north peat) were utilized to produce different casing soil, which used in the process of button mushroom production. Commercial and total yield traits, biological efficiency, piece weight, dry matter percentage, and mushroom earliness were determined in the applied treatments. The results showed that there was a significant difference in yield, biological efficiency, dry matter percentage, and earliness traits among the treatments. The highest total yield and biological efficiency were related to the mixture of north peat and cow manure vermicompost (50% and 50%v/v), and the mixture of north peat and SMC vermicompost (50% and 50%v/v), with 16 kg/m2 yield., In cow manure (100%), and the mixture of north peat and cow manure (25% and 75%v/v) treatments no growing mycelial occured. The lowest total yield was achieved from north peat (100%), with 9.8 kg/m2.

Overall, the results showed that replacement of cow manure vermicompost, and SMC vermicompost with peat and conventional casing soil treatments could lead to save the costs, and preservation of natural resources.

Cite this article: Jafari Haghighi, M., Ghorbani Dashtaki, Sh., Kelishadi, H., & Mosaddeghi, M.R. (2023). Effects of Physical and Chemical characteristics of Different Casing Soils on Quantitative and Qualitative Characteristics of Button Mushroom (Agaricus bisporus). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (2), 213-233. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.347793.2056

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.347793.2056

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 (e.g., peat). In order to introduce a suitable alternative to peat, and also invastigate the effects of different casing soils on quantitative and qualitative characteristics of button mushroom this study was carried out.

Materials and Methods

This study was conducted in a completely randomized design with 20 treatments and three replications on an industrial scale in Negin Fasl Agro-industry Company. In this respect, different alternative materials, such as mixed cow manure, spent mushroom compost (SMC), cow manure vermicompost, and SMC vermicompost in different volume ratios (25, 50, 75 and 100%) with peat (prepeared from north of Iran, north peat) were utilized to produce different casing soil treatments were used in the process of button mushroom production. Commercial and total yield traits, biological efficiency, piece weight, dry matter percentage, and mushroom earliness were determined in the applied treatments. In all the statistical analyses, related to piece weight, earliness, and dry matter percentage, the treatments that lacked mycelium growth and had zero yield were excluded. However, in evaluating the characteristics of commercial yield, total yield and biological efficiency, the zero yield of these treatments was considered and all the statistical analyses were done considering these treatments. The comparison of means was done by Duncan's multiple range test with SAS (9-4) statistical software. Casing soil properties were determined as following: soil pHwas measured in saturated paste and EC of saturated paste extract determined with electrical conductivity meter. The amount of organic matter by burning in the furnace, the wet bulk density with a graduated cylinder, particle density with pycnometer, the amount of soil moisture in matric suctions of 0, 10, 50 and 100 hPa were measured with a sand box. Also, porosity (POR), air after irrigation (AIR), easily available water (EAW), water buffering capacity (WBC), water holding capacity(WHC), air capacity (AC), relative field capacity (RFC) were calculated. The obtained data were standardized, then principal component analysis and clustering of treatments were done.

Results and Discussion

The results showed that there was a significant difference in yield and biological efficiency, dry matter percentage, and earliness traits among the treatments. The highest total yield and biological efficiency were related to the mixture of north peat and cow manure vermicompost (50% and 50%v/v), and the mixture of north peat and SMC vermicompost (50% and 50%v/v), with 16 kg/m2 yield. In cow manure (100%), and the mixture of north peat and cow manure (25% and 75%v/v) treatments no growing mycelial occured. The lowest total yield was achieved from north peat (100%), with 9.8 kg/m2. The relative field capacity showed a strong positive correlation with the yield of the mushroom. Examining the values of the relative field capacity in the treatments with the maximum total yield indicated that its optimal range lies between 0.81 and 0.84. The maximum yield of the mushroom was produced in the optimal range of total air capacity to total soil porosity (0.16-0.19).

Conclusion

Overall, the results showed that replacing cow manure vermicompost, and SMC vermicompost with peat and conventional casing soil could lead to savings the costs in mushroom productionn, and also preserve natural resources. Considering the importance of balance between water and air in mushroom cultivation, the relative field capacity can be used in investigations related to the characteristics and quality of the casing soil.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

بررسی تاثیر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای پوششی مختلف بر صفات کمّی و کیفی قارچ تکمه‌ای (Agaricus bisporus)

مجتبی جعفری حقیقی[۱] | شجاع قربانی دشتکی[۲]✉ | حمید کلیشادی[۳] | محمدرضا مصدقی[۴]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mjafarihaghighi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ghorbani-sh@sku.ac.ir

۳. مدیر توسعه و تحقیق شرکت کشت و صنعت نگین فصل، شهرکرد، ایران. رایانامه: kelishadi.h@gmail.com

۴. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mosaddeghi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

خاک پوششی، کارایی بیولوژیک، کمپوست برگشتی، گنجایش مزرعه نسبی، ورمیکمپوست.

چکیده

یکی از نهاده‌های مهم در تولید قارچ تکمهای، خاک پوششی است که معمولاً از منابع آلی تجدیدناپذیر (مانند پیت) استخراج میشود. به منظور معرفی یک جایگزین مناسب برای پیت و بررسی اثر انواع خاک پوششی برروی ویژگی های کمی و کیفی قارچ تکمهای، این پژوهش اجرا گردید.

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تیمار و سه تکرار در مقیاس صنعتی در شرکت کشت و صنعت نگین فصل اجرا شد. بر این اساس، با استفاده از مواد جایگزین مختلفی مانند ترکیب کود گاوی، کمپوست قارچ تکمهای مصرف شده (SMC)، ورمیکمپوست کود گاوی و ورمیکمپوست SMC در نسبتهای مختلف حجمی با پیت شمال، تیمارهای مختلفی از خاک پوششی تولید شد که در تولید قارچ تکمهای مورد استفاده قرار گرفتند. صفات عملکرد تجاری، عملکرد کل، کارایی بیولوژیک، میانگین وزنی، درصد ماده خشک و زودرسی قارچ تحت تیمارهای اعمال شده تعیین شد.

نتایج نشان داد که تفاوت معنیداری از نظر عملکرد، کارایی بیولوژیک، درصد ماده خشک و زودرسی بین تیمارها وجود داشت. بیشترین عملکرد کل (۱۶کیلوگرم بر مترمربع) و کارایی بیولوژیک مربوط به تیمارهای مخلوط پیت شمال و ورمیکمپوست کود گاوی (۵۰ درصد و ۵۰ درصد)، و مخلوط پیت شمال و ورمی-کمپوست SMC 50) درصد و ۵۰ درصد) بود. در تیمارهای کود گاوی (۱۰۰ درصد)، و مخلوط پیت شمال و کود گاوی (۲۵ درصد و ۷۵ درصد) ریسهدوانی مشاهده نشد. تیمار پیت شمال (۱۰۰ درصد) با ۹/۸ کیلوگرم بر مترمربع کمترین عملکرد را داشت.

در مجموع، نتایج نشان داد که جایگزینی ورمیکمپوست کود گاوی و ورمیکمپوست SMC به جای پیت و تیمارهای معمول خاک پوششی منجر به صرفهجویی در هزینه ها و حفظ منابع طبیعی میگردد.

استناد: جعفری حقیقی، مجتبی؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ کلیشادی، حمید؛ و مصدقی، محمدرضا (۱۴۰۲). بررسی تاثیر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای پوششی مختلف بر صفات کمّی و کیفی قارچ تکمهای (Agaricus bisporus). *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۲)، ۲۳۳-۲۱۳.
DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.347793.2056

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.347793.2056

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و نیاز به غذای سالم استفاده بهینه از منابع تولید غذا را اجتناب‌ناپذیر نموده است. امروزه قارچ‌های خوراکی سهم بسزایی در سبد غذایی بشر دارند. قارچ‌های خوراکی ساپروفیت‌هایی هستند که از مانده‌های گیاهی، حیوانی و صنعتی تغذیه می‌کنند (Mohammadi Goltapeh & Pourjam, 2004). اقبال جهانی به تولید و فروش قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach) و نیز ارزش تغذیه‌ای و دارویی آن باعث تمایز این قارچ از سایر قارچ‌ها شده است (Rezaei, 2011 ;Owaid *et al*., 2017). بر اساس آمارهای جهانی، تولید صنعتی قارچ‌های خوراکی در سراسر جهان بالغ بر ۱۰ میلیون تن و سهم قارچ تکمه‌ای از آن ۳۶ درصد است (FAO, 2019).

پرورش بهینه قارچ تکمه‌ای نیازمند شرایط ویژه و استفاده از نهاده‌های مناسب است. یکی از این نهاده‌های مهم، خاک پوششی است که معمولاً از منابع آلی تجدیدناپذیر (مانند پیت) استخراج می‌شود. پژوهش برای یافتن ترکیبات جایگزین پیت با کارایی قابل قبول ضروری است و گزارشات زیادی منتشر شده است. علی‌رغم پژوهش‌های ارزشمند پیشین، هیچکدام از این تلاش‌ها منجر به حذف کامل پیت از چرخه تولید قارچ تکمه‌ای نگردیده و روش‌ها و مواد توصیه شده نتوانسته‌اند مشکل منابع خاک پوششی کشور را حل کنند. در این پژوهش، تولید صنعتی و ارزیابی خاک پوششی با هدف حذف کامل پیت یا حداقل حذف بخش قابل‌توجهی از آن و ارائه یک ترکیب صنعتی جدید با قابلیت تولید انبوه برای جایگزینی پیت مورد بررسی قرار گرفت. این محصول بر اساس مفاهیم آب قابل استفاده و با استفاده از پسماندهای کود گاوی، ورمی‌کمپوست کود گاوی، کمپوست برگشتی قارچ تکمه‌ای[1] و ورمی‌کمپوست SMC تهیه شده است. تولید این خاک پوششی باعث حفاظت از منابع خاک آلی کشور به عنوان ذخیره‌گاه‌های مهم زیستی، جلوگیری از خروج ارز از کشور جهت تهیه خاک پوششی، کاهش هزینه خرید خاک توسط پرورش‌دهندگان قارچ خوراکی، و در نهایت کاهش قیمت این محصول برای مصرف کنندگان می‌شود.

پیشینه پژوهش

در مراحل تولید قارچ، پس از آنکه میسلیوم‌های قارچ درون کمپوست به صورت مناسبی رشد کرده و پوششی سفیدرنگ در سطح بستر تشکیل شد، پوشاندن سطح بستر با لایه‌ای برخوردار از مشخصه‌های ساختاری ویژه و مرطوب از اهمیت زیادی برخوردار است که اصطلاحاً آن‌را خاک پوششی[2] می‌نامند (Stamets & Chilton, 1983). خاک پوششی مانع خشک‌شدن بستر کاشت گردیده، محیط مرطوب مناسبی برای تشکیل مرحله ته‌سنجاقی[3] فراهم نموده، آب لازم برای رشد قارچ را تامین کرده و همچنین، برای تحریک پریموردیا[4] و تشکیل هاگ‌بر[5] قارچ تکمه‌ای ضروری است (Nobel *et al*., 1999; Nobel *et al*., 2003; Pardo-Gimenez *et al*.; 2017). بنابراین، خاک پوششی اهمیت فراوانی برای گذر از مرحله رویشی به مرحله زایشی دارد (Farsi & Pourianfar, 2011). یک خاک پوششی استاندارد باید به گونه‌ای باشد که بتواند پشتیبان چین‌های برداشت[6] متوالی قارچ باشد. برای نیل به این اهداف خاک پوششی باید دارای ساختمان و تخلخل[7] مناسب، pH تقریباً قلیایی، هدایت الکتریکی[8] پائین، بدون آلودگی میکروبی و انگلی، غنی از مواد آلی و کاملاً پوسیده، بافت مناسب و گنجایش

1Spent mushroom compost, SMC
2Casing soil
3Pin head
4Primordia
5Sporophore
6Flushes
7Porosity
8Electrical conductivity, EC

نگهداشت آب زیاد، و فراهمی آب زیاد برای[1] قارچ باشد. این لایه[2] از نظر ویژگی‌های تغذیه‌ای با کمپوست متفاوت بوده و ارزش غذایی کمتری دارد (Stamets & Chilton, 1983; Farsi & Pourianfar, 2011).

پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند که پیت یک خاک پوششی مناسب برای تولید قارچ تکمه‌ای است (Dias *et al.*,2021). پیت دارای گنجایش نگهداشت آب زیادی است و به دلیل pH پائین عملاً موجودات بیماری‌زا در آن رشد نمی‌کنند (Farsi & Pourianfar, 2011). در ایران منابع طبیعی خاک پوششی (پیت) محدود بوده و هزینه فراوانی برای تهیه آن صرف می‌گردد. از سوی دیگر، پیامدهای زیست‌محیطی فراوانی در اثر برداشت پیت ایجاد می‌گردد. فرایند برداشت درازمدت از ذخایر پیت حجم زیادی کربن وارد اتمسفر می‌کند که تا مدت‌ها ادامه می یابد (Keestrea *et al*., 2016). به دلایلی مانند، کاهش منابع پیت، کیفیت پایین پیت‌های در دسترس، قیمت بالا، هزینه زیاد حمل، و پیامدهای زیست محیطی، پژوهش برای یافتن ترکیبی جایگزین با کارایی قابل قبول ضروری بوده و محققین گزارش‌های زیادی در مورد موادی که قابلیت جایگزینی پیت را دارند (به‌ویژه پسماندهای کشاورزی) منتشر نموده‌اند، هر چند که، کارایی هیچ‌کدام به اندازه پیت نبوده است (Dhar, 1994; Pathak *et al*., 2000; Polat & Ömer, 2021).

برخی از این موارد عبارتند از: خاک لوم رسی (Kim *et al*., 2018)، اختلاط کودهای دامی و خاک باغی (Nirupa &Kudada, 2018)، کمپوست برگشتی قارچ تکمه‌ای (Ayyub *et al*., 2014; Kazemi Zahrani, 2019)، پسماندهای مختلف محصولات کشاورزی (Pardo *et al*., 2004)، مخلوط آهک دولومیتی ۳۰ درصد و خاک لوم شنی ۷۰ درصد (Martos *et al*., 2017)، کمپوست مصرف‌شده و کود دامی (۱:۳ v/v) (Choudhary *et al*., 2011)، پوست درخت (Martos *et al*., 2017)، هیدروژل و خاک (Peivast *et al*., 2009)، باگاس نیشکر (Kazemi Zahrani, 2019)، مانده‌های کاغذ (Kazemi Zahrani, 2019; Sassine, 2007) و مخلوط پیت و پرلیت (Hosseini *et al*., 2017; Toker et al., 2007).

روش شناسی پژوهش

این پژوهش در دانشگاه شهرکرد و با همکاری شرکت کشت و صنعت نگین فصل انجام شد. بر اساس بررسی منابع انجام شده، مواد جایگزین خاک پوششی پیت که در پنجاه سال گذشته عملکرد بهتری داشته و قابل دسترس بودند انتخاب شد. بنابراین، از کود گاوی، SMC شش ماه پوسیده، ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC به عنوان مواد اولیه ساخت خاک پوششی استفاده گردید. پس از آبشویی ماده‌ی اولیه تا رسیدن هدایت الکتریکی زهاب به ۳/۵دسی زیمنس بر متر، در ترکیب با خاک پیت در نسبت‌های مختلف حجمی (جدول ۱)، تیمارهای خاک پوششی تولید شدند. خاک پوششی تهیه‌شده پیش از مصرف در تونل پاستوریزه با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به وسیله بخار آب به مدت ۱۲ ساعت پاستوریزه شد.

کمپوست تولیدشده (۶۰ درصد کلش گندم، ۳۵ درصد کود مرغی و ۵ درصد سنگ گچ) در شرکت کشت و صنعت نگین فصل (جدول۲)، در تونل پاستوریزه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت پاستوریزه گردید. سپس، به مدت ۸۰-۷۰ ساعت در دمای ۴۸ درجه سلسیوس برای آمونیاک‌زدایی در تونل نگه‌داری و بعد از آن به مدت ۲۴ ساعت دمای آن کاهش داده شد تا به ۲۲ درجه سلسیوس برسد. کمپوست پاستوریزه‌شده (کمپوست فاز II) بر روی نقاله‌های مخصوص قرار گرفت و عملیات تلقیح به روش یکنواخت با ۱۲-۱۰ کیلوگرم بذر گندم آغشته به میسلیوم قارچ تکمه‌ای، رقم سیلوان A_{15}، برای هر تن کمپوست صورت پذیرفت.

کمپوست تلقیح‌شده در بسترهای کشت به ابعاد ۱۷۰×۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در سالن پرورش قارچ بارگیری گردید. در هر متر مربع ۷۸ کیلوگرم و جمعاً برای هر بستر ۲۰۰ کیلوگرم کمپوست قرار داده شد. دمای کمپوست در این مرحله

1Water holding capacity, WHC
2Available water, AW
3Filling

۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰–۸۰ درصد و غلظت CO_2 درون سالن ۲۰۰۰–۳۰۰۰ پی‌پی‌ام تنظیم گردید. پس از ۱۴ روز میسلیوم‌های قارچ در کمپوست ریسه‌دوانی نموده و رنگ کمپوست از قهوه‌ای تیره به زرد تبدیل‌گردید.

پس از ریسه‌دوانی کامل میسلیوم قارچ در کمپوست، بستر آماده خاک‌دهی شد. در این مرحله، تیمارهای خاک پوششی آماده شده با رطوبت نسبی ۷۶–۶۸ درصد (نزدیک اشباع) به ضخامت ۴ سانتی‌متر بر روی بستر قرار داده شد و عملیات خاک‌دهی به صورت ککینگ انجام شد. دمای بستر در مرحلهٔ خاک‌دهی ۲۵–۲۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی درون سالن حدود ۹۵ درصد (اشباع) و غلظت CO_2 درون سالن نزدیک ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام بود. پس از ریسه‌دوانی میسلیوم (حدود ۷۰–۶۰ درصد) در خاک پوششی (۷ روز پس از خاک‌دهی)، عمل هوادهی انجام شد. در این مرحله، دمای کمپوست طی ۹۶ ساعت به ۱۷ درجه سلسیوس رسانده شد و غلظت CO_2 نیز به مرور کاهش داده شد. همچنین، رطوبت نسبی سالن در دامنه ۹۵–۹۰ درصد قرار داشت. در پایان این مرحله غلظت CO_2 درون سالن به ۱۲۰۰۰–۸۰۰ پی‌پی‌ام کاهش داده شد.

پس از این مرحله، رطوبت نسبی به ۸۵–۸۰ درصد کاهش یافته و دمای هوای سالن در دامنه ۱۶–۱۸ درجه سلسیوس تنظیم گردید. حدود ۱۱– ۹ روز پس از هوادهی، با تشکیل همزمان اسپورفورها (پین هد)، اولین چین برداشت شد. عملیات برداشت زمانی انجام شد که قطر کلاهک قارچ ۳ سانتی متر و دو برابر پایه ساقه قارچ بود. پس از برداشت، ته ساقه قارچ با یک چاقو تیز ضدعفونی‌شده، برش داده شد. پس از چین اول، برداشت چین دوم نیز یک هفته بعد انجام شد.

جدول۱. ترکیب و شماره تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش

تیمار	ترکیب
T1	مخلوط پیت شمال و پیت جنوب (نسبت حجمی ۵۰ درصد و ۵۰ درصد)
T2	پیت شمال (۱۰۰ درصد)
T3	پیت جنوب (۱۰۰ درصد)
T4	تیمار کنترل– خاک پوششی تجاری (مخلوط پیت شمال، پیت جنوب و SMC: نسبت حجمی ۳۳/۳ درصد، ۳۳/۳درصد و ۳۳/۳ درصد)
T5	مخلوط پیت شمال و کودگاوی (نسبت حجمی ۷۵ درصد و ۲۵ درصد)
T6	مخلوط پیت شمال و کودگاوی (نسبت حجمی ۵۰ درصد و ۵۰ درصد)
T7	مخلوط پیت شمال و کودگاوی (نسبت حجمی ۲۵ درصد و ۷۵ درصد)
T8	کودگاوی (۱۰۰ درصد)
T9	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کودگاوی (نسبت حجمی ۷۵ درصد و ۲۵ درصد)
T10	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کودگاوی (نسبت حجمی ۵۰ درصد و ۵۰ درصد)
T11	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست کودگاوی (نسبت حجمی ۲۵ درصد و ۷۵ درصد)
T12	ورمی‌کمپوست کودگاوی (۱۰۰ درصد)
T13	مخلوط پیت شمال و SMC (نسبت حجمی ۷۵ درصد و ۲۵ درصد)
T14	مخلوط پیت شمال و SMC (نسبت حجمی ۵۰ درصد و ۵۰ درصد)
T15	مخلوط پیت شمال و SMC (نسبت حجمی ۲۵ درصد و ۷۵ درصد)
T16	SMC (۱۰۰ درصد)
T17	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست SMC (نسبت حجمی ۷۵ درصد و ۲۵ درصد)
T18	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست SMC (نسبت حجمی ۵۰ درصد و ۵۰ درصد)
T19	مخلوط پیت شمال و ورمی‌کمپوست SMC (نسبت حجمی ۲۵ درصد و ۷۵ درصد)
T20	ورمی‌کمپوست SMC (۱۰۰ درصد)

1Compost added to a casing, CACing

جدول۲. تجزیه شیمیایی کمپوست مورد استفاده در این پژوهش

C/N	pH	EC	L	HC	Ce	C	TN	NH_4^+	Mo
--	--	µS/cm	%						
۱۶	۷/۳۵	۹۲۳۰	۱۲/۳	۱۶/۹	۱۷/۶	۳۳/۵	۲/۱	۰/۰۰۶	۶۵/۱

C/N: نسبت کربن به نیتروژن، EC: رسانایی الکتریکی، L: لیگنین، HC: همی‌سلولز، Ce: سلولز، C: کربن، TN: نیتروژن کل، Mo: رطوبت

در هر چین صفات عملکرد قارچ درجه یک تجاری (دارای بافت متراکم، کلاهک پشت بسته و وضعیت ظاهری خوب و عالی)، عملکرد قارچ درجه دو (دارای بافت نیمه‌متراکم، کلاهک پشت باز و وضعیت ظاهری متوسط)، عملکرد کل (مجموع عملکرد قارچ درجه یک و دو که توسط ترازوی دو رقم اعشار توزین شد)، کارایی بیولوژیک با استفاده از رابطه ۱ (Kĕrketta *et al.*, 2018)، میانگین وزن هر قارچ (با استفاده از شمارش[۴] تعداد قارچ در یک کیلوگرم قارچ) و درصد ماده خشک قارچ (ماده خشک ۱۰ عدد قارچ تازه که یک هفته در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شده بود) (Burton & Noble, 1993) اندازه‌گیری شد. فاصله زمانی خاکدهی تا اولین برداشت (روز) تعیین شد.[۶]

رابطه ۱)
$$\text{کارایی بیولوژیک} = \frac{\text{وزن قارچ تازه}}{\text{وزن خشک بستر کمپوست}} \times 100$$

جهت تعیین ویژگی‌های تیمارهای خاک پوششی از روش‌های متداول استفاده شد. pH خاک پوششی در گل اشباع (Thomas, 1996)، درصد رطوبت اشباع (Riley, 1986) و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996) در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شده و هدایت الکتریکی ۱:۱۰ بر اساس رابطه ۲ (Banitalebi *et al.*, 2019) محاسبه شد.

رابطه ۲)
$$EC_{1:10} = EC_{sat} \times \frac{\%SP}{1000}$$

در این رابطه، $EC_{1:10}$: هدایت الکتریکی ۱:۱۰ (دسی‌زیمنس بر متر)، EC_{sat}: هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)، SP%: درصد رطوبت اشباع است.

میزان ماده آلی به روش سوزاندن در کوره (Andrejko *et al.*, 1983) اندازه‌گیری و با رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه ۳)
$$\text{درصد ماده آلی} = \frac{\text{وزن پس از هضم(خاکستر)} - \text{وزن آون خشک}}{\text{وزن آون خشک}} \times 100$$

چگالی ظاهری خاک پوششی مرطوب با استفاده از استوانه مدرج و رابطه (۴) اندازه‌گیری شد (Riley, 1986).

رابطه ۴)
$$\rho_b = \frac{M2}{M1 - (M3 - M2)} \times \frac{1}{1 + w}$$

در این رابطه، ρ_b: چگالی ظاهری آون- خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، M_2: وزن خاک پوششی تازه (گرم)، M_1: وزن استوانه پر از آب (گرم)، M_3: مجموع وزن بشر، خاک و آب (گرم)، w: میزان رطوبت خاک پوششی است.

چگالی حقیقی با پیکنومتر و رابطه (۵) اندازه‌گیری و محاسبه شد (Gupta *et al.*, 2002).

رابطه ۵)
$$\rho_s = \frac{\rho_w(M1 - M0)}{(M1 - M0) - (M2 - M3)}$$

1Commercial yield
2Total yield
3Biological efficiency
4Piece weight
5Dry matter percentage
6Earliness

در این رابطه، ρ_s: چگالی حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، ρ_w: چگالی آب (یک گرم بر سانتی‌متر مکعب)، M_0: وزن پیکنومتر خشک (گرم)، M_1: وزن پیکنومتر خشک و خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متر (گرم)، M_2: وزن پیکنومتر، خاک و آب مقطر جوشیده خنک شده (گرم)، و M_3: وزن پیکنومتر پر شده از آب مقطر جوشیده سرد شده (گرم) است.

تخلخل کل با استفاده از مقادیر چگالی ظاهری و حقیقی خاک محاسبه شد (Raviv & Lieth, 2008) که تقریباً برابر رطوبت حجمی اشباع است.

برای تعیین برخی نقاط و حدود رطوبتی مهم روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک (Reynolds & Topp, 2007)، مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک ۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰هکتوپاسکال با دستگاه جعبه شن اندازه‌گیری شد.

همچنین شاخص‌های مقادیر رطوبت و هوا از روی داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک و بر اساس روابط (۶ تا ۱۲) تعیین شدند (Raviv & Lieth, 2008; Reynolds *et al*., 2009):

رابطه ۶) $$AIR = \theta_0 - \theta_{10}$$

رابطه ۷) $$EAW = \theta_{10} - \theta_{50}$$

رابطه ۸) $$WBC = \theta_{50} - \theta_{100}$$

رابطه ۹) $$WHC = \theta_{10}$$

رابطه ۱۰) $$RFC = (\frac{\theta_{FC}}{\theta_0}) \quad 0 < RFC < 1$$

رابطه ۱۱) $$1 - RFC = \frac{(\theta_0 - \theta_{FC})}{\theta_0}$$

رابطه ۱۲) $$AC_t = \theta_0 - \theta_{FC}$$

که در این روابط، AIR: درصد حجمی هوا پس از آبیاری ، θ_0: رطوبت اشباع، θ_{10}: رطوبت در مکش ماتریک ۱۰هکتوپاسکال، EAW: آب سهل‌الوصول ، θ_{50}: رطوبت در مکش ماتریک ۵۰هکتوپاسکال، WBC: گنجایش آب بافری ، θ_{100}: رطوبت در مکش ماتریک ۱۰۰ هکتوپاسکال، WHC: گنجایش نگهداری آب، RFC: گنجایش مزرعه نسبی ، θ_{FC}: رطوبت در نقطه FC (اینجا مکش ماتریک ۱۰۰هکتوپاسکال)، 1-RFC: نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک و AC_t: گنجایش هوایی کل می‌باشند.

تجزیه واریانس بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در تمامی تجزیه و تحلیل های آماری مربوط به صفات میانگین وزن قارچ، فاصله زمانی خاک‌دهی تا اولین برداشت، و درصد ماده خشک، تیمارهایی که فاقد رشد میسلیومی بوده و عملکرد صفر داشتند حذف شدند، اما در ارزیابی صفات مربوط به عمکرد تجاری، عملکرد کل و کارایی بیولوژیک عملکرد صفر این تیمارها در نظر گرفته شده و تمام تجزیه‌های آماری با لحاظ این تیمارها صورت پذیرفت. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن با نرم‌افزار SAS 9-4 انجام پذیرفت و نمودارها در نرم‌افزار MS Excel 2010 رسم گردید. برای تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی ، ابتدا داده های به‌دست آمده با استفاده از رابطه ۱۳ استاندارد شد، سپس از دستور PRINCOMP استفاده شد (Shirani, 2017).

رابطه ۱۳) $$Z_i = \frac{(X_{ij} - \overline{X}_i)}{S_i}$$

1 Air after irrigation, AIR
2 Easily available water, EAW
3 Water buffering capacity, WBC
4 Relative field capacity, RFC
5 Total air capacity, ACt
6 Duncan
7 Principal component analysis, PCA

که در آن، Z_i: متغیر استاندارد شده، X_{ij}: متغیر مد نظر، $\overline{Xi}$ و S_i: به ترتیب میانگین و انحراف معیار متغیر مربوطه است.

با توجه به سیستم P متغیری، مولفه اصلی i ام عبارت است از:

$$PC_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \cdots + a_{ij}X_j$$ رابطه ۱۴)

a_{ij}: اجزای بردار ویژه ماتریس کوواریانس (۱، ۲، ...) و X_j: متغیر ورودی اولیه (۱، ۲، ...) است.

ضرایب همبستگی پیرسون با استفاده از دستور CORR و خوشه‌بندی تیمارها با دستور CLUSTER و روش Average linkage method در نرم‌افزار SAS 9-4 انجام پذیرفت (Soltani, 2011).

یافته های پژوهش

ویژگی‌های خاک پوششی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پوششی در جدول ۳ ارائه شده است. تعدادی از ویژگی‌های خاک پوششی تاثیر بیشتری بر عملکرد داشتند. نتایج PCA نشان داد که مولفه‌های اصلی اول تا چهارم ۹۲ درصد واریانس را تبیین نموده، و به ترتیب از مولفه اول به بعد سهم تبیین واریانس کاهش می‌یابد. مولفه اصلی اول ۵۷/۷ درصد، مولفه اصلی دوم ۱۵/۸درصد، مولفه اصلی سوم ۱۰/۳درصد و مولفه اصلی چهارم ۸/۴ درصد از کل واریانس ویژگی‌های خاک پوششی را تبیین می‌نمایند. جدول ۴ مولفه‌های اصلی با مقدار ویژه بیش از یک را نشان می‌دهد. بیشتر ویژگی‌های خاک پوششی (بجز pH، PD، WHC، θ_{100}) همبستگی زیادی با مولفه اول نشان دادند. در این مولفه، ویژگی‌های θ_s(٪w/w)، TP، EAW، RFC و 1-RFC بیشترین اهمیت را داشتند. می‌توان مولفه اول را مولفه شاخص‌های رطوبت و هوا در خاک پوششی نام‌گذاری کرد. مهم‌ترین ویژگی‌های مولفه دوم WHC و θ_{100} بودندکه بیانگر رطوبت خاک پوششی در دو مکش ماتریک ۱۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال می باشند. در مولفه سوم دو ویژگی BD و PD بیشترین ضریب را داشتند، بنابراین مولفه سوم را می‌توان مولفه چگالی خاک پوششی نامید. pH خاک پوششی، تاثیرگذارترین ویژگی در مولفه چهارم بود.

شکل ۱خوشه‌بندی یا دندوگرام تیمارهای خاک پوششی را جهت نشان دادن میزان قرابت آنها با یکدیگر نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود در سطح سوم نمودار، هفت گروه دسته‌بندی شده‌اند و در آن تیمارهایT10، T18 و T19 در یک گروه قرار می‌گیرند. تیمارهای T10 و T18 بیشترین عملکرد کل قارچ تکمه‌ای را تولید نمودند. عملکرد تیمار T19، ۹۲/۳ درصد عملکرد بیشینه بود. مقادیر RFC در این تیمارها در دامنه۰/۸۴–۰/۸۱ متغیر بود. ویژگی 1-RFC در تیمارهای T10 و T18 در محدوده ۰/۱۹–۰/۱۶ متغیر بود. بیشترین عملکرد کل در AC_t در محدوده ۱۳/۶ – ۱۱/۲ درصد، نزدیک به تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد ($AFP_{10\%}$)، و تخلخل تهویه‌ای ۱۵درصد ($AFP_{15\%}$) حاصل شد.

1Eigenvalue

جدول ۳. ویژگی‌های خاک های پوششی مورد استفاده در این پژوهش برای تولید قارچ تکمه ای

تیمار	pH	$EC_{1:10}$	OM	BD	PD	θ_S	RFC	1-RFC	TP	θ_{100}	AIR	EAW	WBC	WHC	AC_t
	-	dS m^{-1}	%	gcm^{-3}	gcm^{-3}	%w/w	-	-	%v/v						
T1	۷/۱۴	۰/۸۸	۳۵/۳	۰/۴۹	۱/۹۴	۱۵۱/۱	۰/۷۸	۰/۲۲	۷۴/۹	۵۷/۵	۵/۷	۷/۰	۳/۴	۶۷/۹	۱۶/۱
T2	۷/۰۸	۰/۵۴	۳۱/۴	۰/۵۱	۱/۹۷	۱۳۶/۶	۰/۷۶	۰/۲۴	۷۴/۱	۵۳/۱	۶/۴	۶/۶	۳/۹	۶۳/۵	۱۶/۹
T3	۷/۲۴	۱/۴۶	۳۷/۱	۰/۴۴	۱/۸۹	۱۶۶/۸	۰/۸۰	۰/۲۰	۷۶/۷	۵۸/۹	۴/۸	۶/۵	۳/۲	۶۸/۷	۱۴/۶
T4	۷/۳۰	۰/۸۳	۳۲/۷	۰/۵۴	۱/۹۵	۱۳۲/۰	۰/۸۴	۰/۱۶	۷۲/۱	۶۰/۰	۳/۶	۵/۶	۳/۲	۶۸/۸	۱۱/۸
T5	۷/۰۴	۰/۶۹	۳۶/۲	۰/۵۳	۱/۹۴	۱۳۵/۷	۰/۷۸	۰/۲۲	۷۲/۹	۵۵/۶	۶/۳	۶/۲	۳/۳	۶۵/۰	۱۵/۸
T6	۷/۲۲	۱/۲۷	۳۸/۵	۰/۴۶	۱/۸۱	۱۵۵/۵	۰/۸۲	۰/۱۸	۷۴/۴	۵۸/۹	۴/۸	۵/۷	۲/۶	۶۷/۲	۱۳/۲
T7	۷/۲۹	۱/۹۳	۳۹/۵	۰/۳۶	۲/۱۵	۲۱۴/۶	۰/۶۷	۰/۳۳	۸۳/۴	۵۱/۴	۱۱/۲	۹/۹	۴/۴	۶۵/۶	۲۵/۴
T8	۷/۵۳	۱/۸۰	۴۳/۵	۰/۳۸	۱/۸۹	۲۰۵/۴	۰/۶۸	۰/۳۲	۷۹/۹	۵۳/۴	۱۰/۸	۹/۰	۵/۰	۶۷/۴	۲۴/۸
T9	۷/۱۳	۰/۷۸	۳۴/۵	۰/۵۰	۱/۹۰	۱۴۲/۷	۰/۷۶	۰/۲۴	۷۳/۸	۵۳/۸	۶/۱	۷/۱	۳/۸	۶۴/۷	۱۷/۰
T10	۷/۵۷	۰/۹۳	۳۴/۵	۰/۵۸	۲/۲۹	۱۱۸/۵	۰/۸۴	۰/۱۶	۷۴/۵	۵۷/۹	۲/۱	۶/۰	۳/۲	۶۷/۰	۱۱/۲
T11	۷/۵۴	۱/۲۵	۳۴/۱	۰/۵۸	۲/۳۵	۱۳۱/۱	۰/۸۱	۰/۱۹	۷۵/۵	۶۰/۹	۴/۸	۶/۴	۳/۴	۷۰/۷	۱۴/۶
T12	۷/۶۴	۱/۰۸	۳۶/۵	۰/۶۱	۲/۰۹	۱۱۰/۲	۰/۸۰	۰/۲۰	۷۱/۰	۵۳/۰	۵/۳	۵/۱	۳/۲	۶۱/۳	۱۳/۷
T13	۷/۰۸	۰/۶۲	۳۳/۶	۰/۵۹	۲/۵۲	۱۳۰/۰	۰/۷۲	۰/۲۸	۷۶/۶	۵۴/۹	۹/۵	۸/۳	۳/۹	۶۷/۰	۲۱/۷
T14	۷/۲۰	۰/۳۷	۳۱/۵	۰/۵۹	۱/۹۷	۱۱۰/۳	۰/۸۶	۰/۱۴	۷۰/۰	۵۶/۴	۱/۷	۴/۳	۳/۰	۶۳/۷	۸/۹
T15	۷/۲۵	۰/۴۶	۳۳/۷	۰/۵۵	۱/۸۶	۱۲۴/۲	۰/۸۰	۰/۲۰	۷۰/۶	۵۴/۳	۴/۲	۶/۲	۳/۴	۶۳/۹	۱۳/۸
T16	۷/۱۷	۰/۵۱	۳۴/۲	۰/۵۷	۲/۰۵	۱۲۲/۰	۰/۷۸	۰/۲۲	۷۱/۵	۵۴/۴	۷/۰	۵/۶	۲/۷	۶۲/۷	۱۵/۲
T17	۶/۷۸	۰/۴۷	۳۲/۵	۰/۵۵	۱/۹۷	۱۳۰/۷	۰/۸۱	۰/۱۹	۷۲/۱	۵۸/۴	۴/۱	۶/۰	۳/۳	۶۷/۷	۱۳/۴
T18	۷/۲۲	۰/۴۷	۳۴/۳	۰/۶۰	۲/۰۹	۱۱۸/۴	۰/۸۱	۰/۱۹	۷۱/۲	۵۷/۵	۴/۸	۵/۳	۳/۵	۶۶/۳	۱۳/۶
T19	۷/۲۲	۰/۴۵	۳۲/۴	۰/۶۲	۲/۱۵	۱۱۴/۸	۰/۸۳	۰/۱۷	۷۱/۲	۵۸/۸	۵/۱	۴/۶	۲/۷	۶۶/۱	۱۲/۴
T20	۷/۳۲	۰/۵۲	۳۲/۸	۰/۵۵	۱/۹۷	۱۲۵/۷	۰/۷۷	۰/۲۳	۷۲/۰	۵۳/۵	۷/۳	۵/۶	۳/۰	۶۲/۱	۱۵/۸

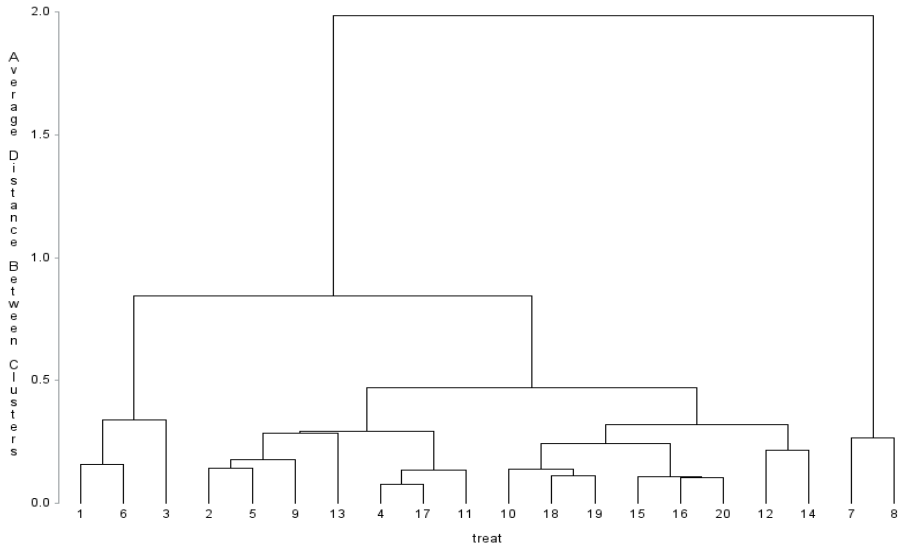
EC: رسانایی الکتریکی، OM: ماده آلی، BD: چگالی ظاهری، PD: چگالی حقیقی، θ_S: رطوبت اشباع اندازه گیری شده، RFC: گنجایش مزرعه نسبی، 1-RFC: نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک، TP: تخلخل کل، θ_{100}: رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰۰هکتوپاسکال، AIR: درصد حجمی هوا پس از آبیاری، EAW: آب سهل‌الوصول، WBC: گنجایش آب بافری، WHC: گنجایش نگهداری آب، AC_t: گنجایش هوایی کل.

(جهت مشاهده تیمارها به جدول ۱ مراجعه شود)، (منبع: یافته های تحقیق)

جدول ۴. مولفه‌های اصلی با مقدار ویژه بیش از یک

مولفه اصلی	مقدار ویژه	سهم تبیین واریانس	
		جزء	تجمعی
$PC_1 = 0.048\ \text{pH} + 0.258\ \text{EC} + 0.241\ \text{OM} + \mathbf{0.305}\ \boldsymbol{\theta s}\ (\mathbf{w/w}) + 0.279\ \text{BD} + 0.013\ \text{PD} + \mathbf{0.307}\ \mathbf{TP} + 0.258\ \theta s\ (\text{v/v}) + 0.282\ \text{AIR} + \mathbf{0.313}\ \mathbf{EAW} + 0.275\ \text{WBC} + 0.061\ \text{WHC} - 0.161\ \theta 100 + 0.274\ \text{ACt} - \mathbf{0.302}\ \mathbf{RFC} + \mathbf{0.302}\ (\mathbf{1} - \boldsymbol{RFC})$	۹/۲۳	۰/۵۷۷	۰/۵۷۷
$PC_2 = 0.108\ \text{pH} + 0.239\ \text{EC} + 0.104\ \text{OM} + 0.108\ \theta s\ (\text{w/w}) - 0.062\ \text{BD} - 0.127\ \text{PD} + 0.159\ \text{TP} + 0.297\ \theta s\ (\text{v/v}) - 0.187\ \text{AIR} + 0.014\ \text{EAW} - 0.046\ \text{WBC} + \mathbf{0.593}\ \mathbf{WHC} + \mathbf{0.539}\ \boldsymbol{\theta 100} - 0.154\ \text{ACt} + 0.191\ \text{RFC} - 0.191\ (1 - RFC)$	۲/۵۲	۰/۱۵۸	۰/۷۳۵
$PC_3 = -0.079\text{pH} - 0.216\ \text{EC} - 0.295\ \text{OM} - 0.216\ \theta s\ (\text{w/w}) - \mathbf{0.357}\ \mathbf{BD} + \mathbf{0.689}\ \mathbf{PD} + 0.057\ \text{TP} + 0.224\ \theta s\ (\text{v/v}) + 0.194\ \text{AIR} + 0.147\ \text{EAW} + 0.129\ \text{WBC} + 0.105\ \text{WHC} - 0.007\ \theta 100 - 0.123\ \text{ACt} - 0.168\ \text{RFC} + 0.168\ (1 - RFC)$	۱/۶۵	۰/۱۰۳	۰/۸۳۸
$PC_4 = \mathbf{0.812}\ \mathbf{pH} + 0.272\ \text{EC} + 0.224\ \text{OM} - 0.107\ \theta s\ (\text{w/w}) - 0.169\ \text{BD} + 0.296\ \text{PD} + 0.025\ \text{TP} - 0.164\ \theta s\ (\text{v/v}) - 0.043\ \text{AIR} - 0.097\ \text{EAW} - 0.008\ \text{WBC} - 0.178\ \text{WHC} - 0.110\ \theta 100 + 0.049\ \text{ACt} + 0.047\ \text{RFC} - 0.047\ (1 - RFC)$	۱/۳۵	۰/۰۸۴	۰/۹۲

انایی الکتریکی، OM: ماده آلی، BD: چگالی ظاهری، PD: چگالی حقیقی، θ_S: رطوبت اشباع اندازه گیری شده، RFC: گنجایش مزرعه نسبی، 1-RFC: نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک، TP: تخلخل کل، θ_{100}: رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰۰ hPa، AIR: درصد حجمی هوا پس از آبیاری، EAW: آب سهل‌الوصول، WBC: گنجایش آب بافری، WHC: گنجایش نگهداری آب، AC_t: گنجایش هوایی کل. (منبع: یافته های تحقیق)



شکل ۱. خوشه‌بندی تیمارهای خاک پوششی

جهت مشاهده تیمارها (اعداد انتهای هر خوشه) به جدول ۱ مراجعه شود. (منبع: یافته های تحقیق)

همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک پوششی و صفات اگرومورفولوژیک قارچ تکمه‌ای

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

جدول ۵. همبستگی صفات اگرومورفولوژیک قارچ با ویژگی‌های خاک پوششی

	pH	EC	OM	θ_s w/w	θ_s v/v	BD	PD	TP
میانگین وزن قارچ	ns۰/۰۷	ns۰/۱۷	ns۰/۰۶-	ns۰/۲۴	ns۰/۱۹	ns۰/۲۲-	ns۰/۰۴-	ns۰/۲۳
درصد ماده خشک	*۰/۳۰	***۰/۴۶	ns۰/۲۰	*۰/۳۱	ns۰/۱۷	*۰/۳۰-	ns۰/۱۰-	*۰/۲۷
زودرسی	ns۰/۰۱-	***۰/۵۹	***۰/۴۷	***۰/۵۹	ns۰/۲۵	***۰/۵۶-	*۰/۳۳-	*۰/۳۱
عملکرد تجاری	ns۰/۲۲-	***۰/۶۸-	***۰/۶۱-	***۰/۸۱-	***۰/۵۱-	***۰/۷۴	ns۰/۱۲	***۰/۷۱-
عملکرد کل	ns۰/۲۳-	***۰/۷۰-	***۰/۶۲-	***۰/۸۱-	***۰/۵۰-	***۰/۷۵	ns۰/۱۳	***۰/۷۲-
کارایی بیولوژیک	ns۰/۲۳-	***۰/۷۰-	***۰/۶۲-	***۰/۸۱-	***۰/۵۰-	***۰/۷۵	ns۰/۱۳	***۰/۷۲-
	AIR	EAW	WBC	WHC	AC_t	θ_{100}	RFC	1-RFC
میانگین وزن قارچ	*۰/۲۹	ns۰/۲۵	ns۰/۲۹	ns۰/۰۱-	*۰/۳۲	ns۰/۱۵-	*۰/۳۳-	*۰/۳۳
درصد ماده خشک	ns۰/۱۱-	ns۰/۰۴-	ns۰/۲۴-	*۰/۲۷	ns۰/۱۲-	*۰/۳۲	ns۰/۱۵	ns۰/۱۵-
زودرسی	ns۰/۱۴-	ns۰/۰۶	ns۰/۲۵-	**۰/۳۸	ns۰/۱۱-	**۰/۴۰	ns۰/۱۷	ns۰/۱۷-
عملکرد تجاری	***۰/۶۶-	***۰/۶۷-	***۰/۶۸-	ns۰/۰۳	***۰/۷۱-	***۰/۵۱	***۰/۷۰	***۰/۷۰-
عملکرد کل	***۰/۶۵-	***۰/۶۸-	***۰/۶۹-	ns۰/۰۱	***۰/۷۱-	***۰/۵۱	***۰/۷۰	***۰/۷۰-
کارایی بیولوژیک	***۰/۶۵-	***۰/۶۸-	***۰/۶۹-	ns۰/۰۱	***۰/۷۱-	***۰/۵۱	***۰/۷۰	***۰/۷۰-

ns،*،**و *** به ترتیب به معنی عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطوح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

EC: رسانایی الکتریکی، OM: ماده آلی، θ_S: رطوبت اشباع اندازه گیری شده، BD: چگالی ظاهری، PD: چگالی حقیقی، TP: تخلخل کل، AIR: درصد حجمی هوا پس از آبیاری، EAW: آب سهل‌الوصول، WBC: گنجایش آب بافری، WHC: گنجایش نگهداری آب، AC_t: گنجایش هوایی کل، θ_{100}: رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰۰هکتوپاسکال، RFC: گنجایش مزرعه نسبی، 1-RFC: نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک، (منبع: یافته های تحقیق)

میانگین وزن قارچ

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشینه میانگین وزن یک عدد قارچ تازه در تیمار T2 (۲۷/۸۳ گرم) و کمینه مقدار آن در تیمارهای T10 (۱۹/۹۸ گرم) و T14 (۱۹/۷۵ گرم) مشاهده شد. صرف‌نظر از تیمارهای T7 و T8، که بدون عملکرد بودند، تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای خاک پوششی بر میانگین وزن قارچ اثر معنی‌داری ندارد (جدول ۶). میانگین وزن قارچ همبستگی ضعیف، اما معنی‌دار منفی با گنجایش مزرعه نسبی (RFC) و همبستگی ضعیف، اما معنی‌دار مثبت با گنجایش هوای کل (ACt)، نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک (1-RFC) و تخلخل درشت خاک (AIR) داشت.

فاصله زمانی خاک‌دهی تا اولین برداشت

بیشترین فاصله زمانی خاک‌دهی تا اولین برداشت در تیمار T6 (۱۷/۳۳ روز) و کمینه فاصله زمانی در تیمارهای T2، T5 ، T9، T10، T12، T13، T14، T16، T18، T19 و T20 (۱۶ روز) به دست آمد، که در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). این صفت اگرومورفولوژیک همبستگی مثبتی با تخلخل کل، رطوبت اشباع، رطوبت در مکش ۱۰۰هکتوپاسکال، گنجایش نگهداری آب (WHC)، هدایت الکتریکی و ماده آلی نشان داد. همچنین این صفت دارای همبستگی منفی با چگالی ظاهری و حقیقی بود و تیمارهای دارای چگالی ظاهری بیشتر (مانند ورمی‌کمپوست) زودتر به باردهی رسیدند (جدول ۵).

درصد ماده خشک

اثر استفاده از تیمارهای مختلف خاک پوششی بر درصد ماده خشک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشینه ماده خشک در تیمارهای T6 (۹ درصد) و T4 (۸/۹۸ درصد) و کمینه در تیمارهای T18، T13 ، T14، T15 و T12 (۷/۵۱ –۷/۲۶ درصد) به دست آمد. ماده خشک همبستگی مثبتی با pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، رطوبت در مکش ۱۰۰ هکتوپاسکال و گنجایش نگهداری آب (WHC) و تخلخل کل خاک پوششی و همبستگی منفی با چگالی ظاهری داشت. تیمارهای دارای SMC (T13، T14 و T15) و ورمی‌کمپوست SMC (T18) و ورمی‌کمپوست کود گاوی (T12) دارای بیشترین میزان رطوبت و کمترین درصد ماده خشک بودند.

جدول ۶. تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای خاک پوششی بر برخی ویژگی‌های اگرومورفولوژیک قارچ تکمه‌ای

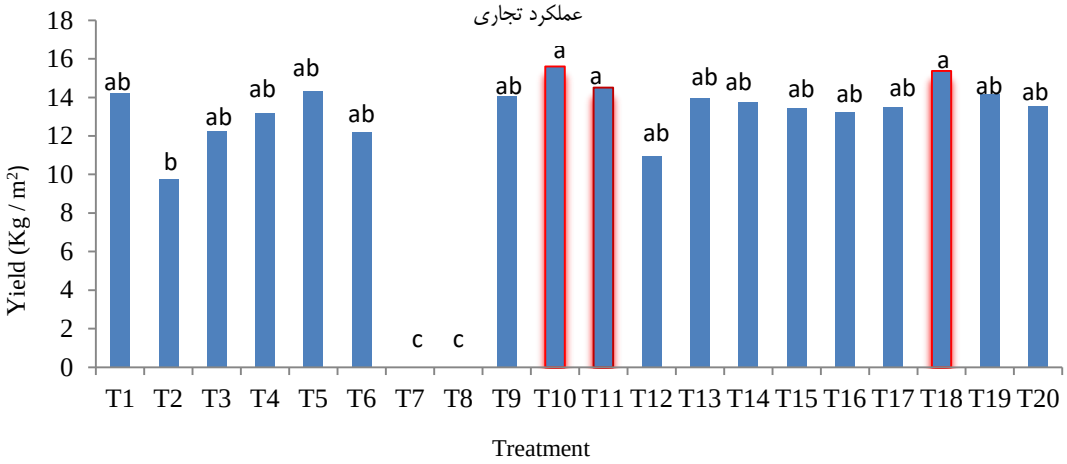
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		میانگین وزن قارچ (g)	ماده خشک (درصد)	زودرسی (روز)
تیمار	۱۷	^{ns}۱۱/۴۶۴	**۰/۹۷۵	***۰/۴۲۵
خطا	۳۴	۶/۸۳۵	۰/۳۵۶	۰/۱۱۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۱/۵۱۶	۷/۴۲۸	۲/۱۱۳

ns،*،**و *** به ترتیب به معنی عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطوح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد. (منبع: یافته های تحقیق)

عملکرد تجاری (قارچ درجه یک)

تاثیر تیمارهای خاک پوششی بر عملکرد تجاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). تیمارهای T10، T11 و T18 بیشترین مقدار عملکرد تجاری را دارا بودند (شکل ۲). تیمارهای T10 و T18 به ترتیب دارای ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC بودند. افزودن ورمی‌کمپوست به پیت شمال، منجر به بهبود ۶۰ درصدی عملکرد تجاری شد. این تیمارها، ۱۸–۱۶ درصد عملکرد تجاری را در مقایسه با خاک پوششی شاهد (T4) بهبود بخشیدند. تیمار T11 (مخلوط

پیت شمال ۲۵ درصد و ورمی‌کمپوست کود گاوی پوسیده ۷۵ درصد) منجر به افزایش ۱۰ درصدی عملکرد تجاری نسبت به خاک پوششی شاهد (T4)گردید. تیمار T2 (پیت شمال۱۰۰ درصد) با عملکرد تجاری ۹/۸ کیلوگرم بر مترمربع کمینه عملکرد در بین تیمارهای باقی‌مانده را تا پایان کشت داشت و سبب کاهش ۲۶ درصد عملکرد تجاری نسبت به تیمار شاهد شد. تیمارهای T3 و T6 دارای عملکرد تجاری ۱۲/۲ کیلوگرم بر مترمربع بودند که ۷/۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار شاهد و ۲۵ درصد افزایش نسبت به خاک شمال را نشان دادند.

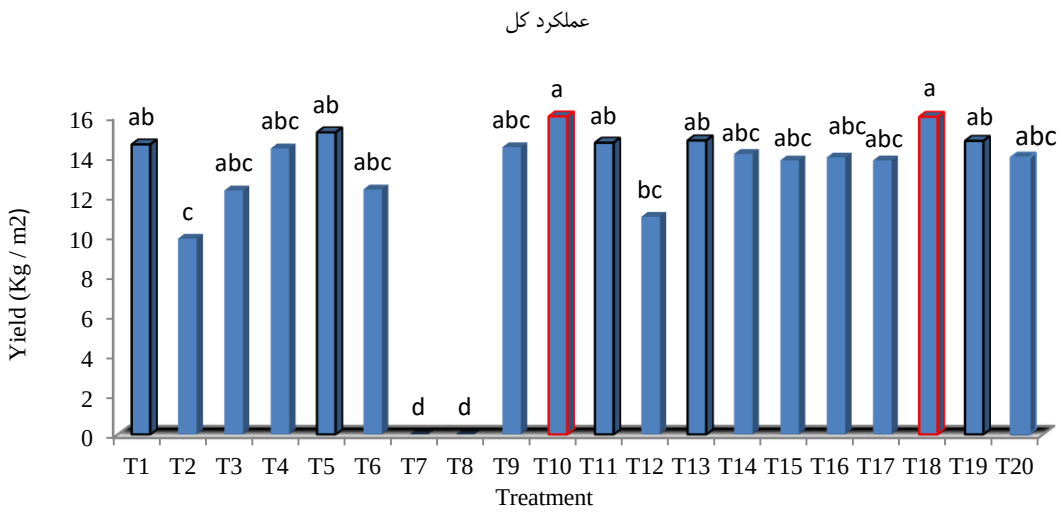


شکل۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک پوششی بر عملکرد تجاری قارچ تکمه‌ای (جهت مشاهده تیمارها به جدول ۱ مراجعه شود).
(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند). (منبع: یافته های تحقیق)

عملکرد کل و کارایی بیولوژیک

نتایج نشان داد که تاثیر تیمارهای خاک پوششی بر عملکرد کل قارچ و کارایی بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تیمارهای T10 و T18 با عملکرد ۱۶ کیلوگرم بر مترمربع بیشترین عملکرد کل قارچ را به خود اختصاص دادند (شکل ۳)، که در مقایسه با عملکرد کارخانه‌های تجاری کمتر بود. در این پژوهش، جهت کنترل دمای کمپوست از ۷۸ کیلوگرم بر مترمربع کمپوست تر استفاده شد، درحالی‌که در کارخانه‌های دارای سیستم سرمایشی پیشرفته مشکلی از نظر کنترل دمای کمپوست نداشته و تا ۱۲۰ کیلوگرم بر مترمربع کمپوست‌ریزی انجام می‌شود. بیشترین عملکرد بر پایه وزن کمپوست تر ۲۰/۵ درصد بود که تقریباً برابر عملکرد کارخانه‌های تجاری است. تیمارهای T10 و T18 دارای ۵۰ درصد پیت شمال و به ترتیب ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC بودند. نتایج نشان داد که افزودن ورمی‌کمپوست به پیت شمال ۶۳ درصد عملکرد کل را افزایش می‌دهد. کمترین عملکرد متعلق به تیمارهای T7 و T8 بود که هیچ ریسه‌ای در خاک گسترش پیدا نکرد. از میان تیمارهایی که به مرحله برداشت رسیدند کمینه عملکرد متعلق به تیمار T2 با عملکرد کل۹/۸ کیلوگرم بر مترمربع بود. عملکرد در تیمار T20 (ورمی‌کمپوست SMC)، نسبت به برترین تیمارها (T10 و T18) ۱۳ درصد کمتر بود.

برای ارزیابی عملکرد قارچ از شاخص کارایی بیولوژیک استفاده شد. تیمارهای T10 (۵۸/۵ درصد) و T18 (۵۸/۴ درصد) بیشترین کارایی بیولوژیک را داشتند. کمینه کارایی بیولوژیک در بین تیمارهای موجود به تیمار T2 با کارایی ۳۶ درصد تعلق داشت که پایین‌ترین عملکرد در بین تیمارهای خاک پوششی پس از تیمارهای T7 و T8 بود. تیمار T19 کاهش ۷/۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمارهای T10 و T18 داشت.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک پوششی بر عملکرد کل قارچ تکمه‌ای (جهت مشاهده تیمار ها به جدول۱ مراجعه شود).
(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند) (منبع: یافته های تحقیق)

عملکرد قارچ همبستگی مثبت قوی با رطوبت خاک پوششی در مکش ماتریک ۱۰۰هکتوپاسکال داشت. رطوبت اشباع، گنجایش آب بافری و آب در دسترس همبستگی منفی قویی با عملکرد قارچ نشان دادند. در تیمارهای T7 و T8 با درصد رطوبت اشباع زیاد، رشد میسلیوم و ریسه‌دوانی در رطوبت حجمی زیاد متوقف گردید و ریسه‌دوانی انجام نشد. عملکرد با تخلخل کل، تخلخل درشت، گنجایش هوای کل و نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک همبستگی منفی قویی نشان داد. عملکرد قارچ همبستگی مثبت قوی با چگالی ظاهری و گنجایش مزرعه نسبی و همبستگی منفی قوی با هدایت الکتریکی و ماده آلی داشت.

جدول۷ . تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای خاک پوششی بر برخی ویژگی‌های اگرومورفولوژیک قارچ تکمه‌ای

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد تجاری($Kg\ m^{-2}$)	عملکرد کل ($Kg\ m^{-2}$)	کارایی بیولوژیک (درصد)
تیمار	۱۹	۵۶/۷۴۵***	۶۱/۴۰۲***	۸۱۹/۹۷۲***
خطا	۳۸	۵/۰۱۳	۵/۲۳۸	۶۹/۹۴۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۸/۴۴۳	۱۸/۲۴۸	۱۸/۲۴۸

ns،*،**و *** به ترتیب به معنی عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطوح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد. (منبع: یافته های تحقیق)

بحث

ویژگی‌های خاک پوششی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پوششی تعیین‌کننده رشد میسلیوم و نیز تولید ته‌سنجاقی و عملکرد محصول است. تعدادی از ویژگی‌های خاک پوششی تاثیر بیشتری بر عملکرد داشتند. ویژگی RFC، توان خاک برای ذخیره‌سازی آب و هوا نسبت به حجم کل منافذ خاک را بیان می‌کند و با توجه به اهمیت تناسب آب و هوا در پرورش قارچ تکمه‌ای، می‌توان آن را در بررسی ویژگی‌های خاک پوششی مورد توجه قرار داد. همچنین این ویژگی، شاخص مفیدی برای بررسی کیفیت فیزیکی خاک پوششی است.

خاک پوششی نباید زیاد خشک و یا زیاد مرطوب باشد، زیرا در شرایط مطلوب رطوبتی میسلیوم قارچ گسترش بهتری خواهد داشت. رطوبت زیاد خاک پوششی باعث عدم انجام تبادلات گازی کمپوست و توده فشرده میسلیومی[1] در سطح خاک پوششی، و در زمان تشکیل ته‌سنجاقی موجب پین‌مردگی خواهد شد.

Reynolds *et al*. (2008) دامنه مطلوب نسبت گنجایش هوای کل به تخلخل کل خاک را ۰/۲۲-۰/۱۶ گزارش کردند که نزدیک به محدوده ویژگی 1-RFC در تیمارهای T10 و T18 می‌باشد. گنجایش هوای کل شاخص مناسبی برای تهویه خاک به شمار می‌رود (Reynolds *et al*., 2008). گنجایش هوای کل تا حدود زیادی به مقدار آب خاک بستگی دارد، به‌طوری‌که افزایش یکی منجر به کاهش دیگری در خاک خواهد شد. اگرچه، کاربرد شاخص هوای کل محدودیت‌هایی نیز دارد و باید به تخلخل کل، منافذ درشت و گنجایش مزرعه نیز توجه نمود. با توجه به نیاز متفاوت مراحل رشد رویشی و زایشی قارچ تکمه‌ای به گاز CO_2، گنجایش هوای خاک پوششی نباید به گونه‌ای باشد که در مرحله رشد رویشی تبادلات گازی منجر به خروج گاز CO_2 از خاک پوششی و در مرحله زایشی منجر به افزایش غلظت گاز CO_2 در خاک پوششی شود.

فاصله زمانی خاک‌دهی تا اولین برداشت

کوتاه بودن فاصله زمانی بین خاک‌دهی تا برداشت به عنوان یک معیار مطلوب در نظر گرفته می شود. با توجه به این مورد، خاک‌های با رطوبت اشباع و رطوبت در مکش ماتریک ۱۰۰ هکتوپاسکال بیشتر، تخلخل کل افزون‌تر، هدایت الکتریکی و ماده آلی بیشتر، دیرتر به باردهی رسیده و مناسب نیستند. هدایت الکتریکی زیاد، منجر به کاهش رشد اسپوروفورها و تاخیر در تشکیل ته‌سنجاقی می‌گردد (Kalberer, 1990). هم‌چنین اکسیداسیون مواد آلی در خاک منجر به تولید CO_2 می‌گردد. وجود مواد آلی زیاد در خاک پوششی منبع خوبی برای CO_2 خاک پوششی است. از طرف دیگر، با توجه به‌این‌که پخشیدگی گازها در آب اندک بوده و تقریبا ۱۰۰۰۰ برابر کمتر از هوا می باشد، بنابراین در خاک‌های با رطوبت زیاد پخشیدگی گاز CO_2 کاهش یافته و به کندی از خاک خارج خواهد شد. نظر به لزوم کاهش غلظت CO_2 در فاز زایشی قارچ تکمه‌ای، درصورت افزایش غلظت زیاد CO_2 و عدم خروج آن ته‌سنجاقی تولید نشده و زمان برداشت با تاخیر صورت می گیرد. Galli *et al*. (1990) عقیده دارند که استفاده از ورمی‌کمپوست باعث تحریک رشد اندام بارده شده، لذا باردهی زودتر انجام می‌گیرد. De la Fuente *et al*. (2003) طول مدت تولید قارچ در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست و پیت را مشابه گزارش نمودند. Ghasemi *et al*. (2020) نیز فاصله زمانی تولید قارچ با کمپوست مصرفی و ورمی‌کمپوست را یکسان گزارش نمودند، که دیرتر از خاک پوششی تجاری بود.

درصد ماده خشک

به عقیده Kalberer (1990) آب به صورت محلول از خاک پوششی جذب شده و بدلیل وجود اختلاف پتانسیل آب بین خاک و سلول‌های میسلیوم قارچ، به سمت اسپوروفورها جریان می‌یابد. با افزایش هدایت الکتریکی، پتانسیل آب کاهش یافته که منجر به کاهش اختلاف پتانسیل آب بین خاک و سلول‌های میسلیوم قارچ می‌شود. بنابراین، جذب آب توسط میسلیوم‌ها کاهش یافته و این منجر به کاهش درصد رطوبت قارچ و افزایش ماده خشک می‌گردد. همچنین، قارچ در شرایط شور برای غلبه بر پتانسیل اسمزی کم، ماده فعال اسمزی به نام مانیتول تولید می‌کند که غلظت زیاد آن در کلاهک قارچ به طور چشم‌گیری در افزایش وزن خشک قارچ موثر است (Vahid Afagh, 1997). Kalberer (1990) بیان داشت که افزایش هدایت الکتریکی خاک پوششی همبستگی مثبتی با درصد ماده خشک قارچ تکمه‌ای دارد. نتایج پژوهش Ramezan & Siahsar (2011) نشان داد که تیمار کود دامی پوسیده و خاک لومی (۵۰ درصد و ۵۰ درصد) بیشترین درصد ماده خشک را

1Stroma

دارا می باشد. این تیمار، به دلیل هدایت الکتریکی زیاد و نداشتن ساختمان فیزیکی مناسب توانایی نگهداری آب جهت تغذیه قارچ و مسیلیوم‌های آن را نداشته، لذا آب را به آسانی از دست می‌دهد که در این صورت قارچ‌های برداشت شده درصد رطوبت کمتر و ماده خشک بیشتری در مقایسه با بقیه داشتند.

عملکرد تجاری (قارچ درجه یک)

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن ۵۰ درصد کود گاوی منجر به بهبود عملکرد تجاری قارچ تکمه‌ای می شود. همچنین، کیفیت پیت جنوب برای تولید قارچ تکمه‌ای، نسبت به پیت شمال مناسب‌تر است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر امکان جایگزینی ورمی‌کمپوست کود گاوی، و ورمی‌کمپوست SMC به جای تیمارهای معمول خاک پوششی و نیز صرفه‌جویی در هزینه‌ها و منابع طبیعی موجود است.

عملکرد کل و کارایی بیولوژیک

عدم رشد میسلیوم در تیمارهای T7 و T8 را می‌توان به عدم تراکم کافی و کمبود CO_2 در لایه پوششی برای تحریک ریسه‌دوانی (بیشترین نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک (1-RFC)، و نیز رطوبت اشباع زیاد و خفگی میسلیوم‌ها نسبت داد. به عقیده Noble *et al*. (1999) در طول ریسه‌دوانی خاک پوششی پیش از باردهی، نرخ رشد گسترش میسلیوم قارچ بیشترین همبستگی منفی را با رطوبت حجمی خاک پوششی دارد. عدم تناسب درصد رطوبت و گنجایش هوا (بیشتر بودن نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل خاک و پایین‌تر بودن رطوبت گنجایش مزرعه) در تیمار T20 (ورمی‌کمپوست SMC) می‌تواند دلیل کاهش عملکرد آن نسبت به برترین تیمارها (T10 و T18) باشد.

کارایی بیولوژیک بیانگر مقدار قارچ تولیدی به ازای هر کیلوگرم بستر خشک مصرفی (کمپوست) است. کارایی بیولوژیک تیمارهای T10 و T18 نشان داد که استفاده ۵۰ درصد از ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC ضمن ۶۳ درصد افزایش درکارایی بیولوژیک نسبت به پیت شمال،کاهش ۵۰ درصدی اضافه برداشت منابع پیت در صنعت پرورش قارچ را در بر داشته و از تخریب منابع آلی و بستر دریاچه‌ها جلوگیری خواهد نمود. عملکرد تیمار T19 نیز با توجه به کاهش ۲۵ درصدی حجم پیت مصرفی نسبت به تیمارهای T10 و T18 قابل توجه بود و می‌تواند یکی از گزینه‌های مطرح در تولید خاک پوششی جایگزین باشد. براساس گزارش De la Fuente *et al*. (2003) میزان تولید قارچ در ورمی‌کمپوست، در مقایسه با پیت به طور معنی‌داری بیشتر بوده که منطبق با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش می باشد.

رطوبت در مکش ماتریک ۱۰۰ هکتوپاسکال در خاک‌های آلی نشانگر حد گنجایش نگهداری آب مزرعه است (Varavipour, 2010). نتایج تحقیق Noble *et al*. (1999) وجود همبستگی مثبت قوی بین عملکرد قارچ با رطوبت خاک پوششی، در مکش ماتریک 100 هکتوپاسکال را تایید و حد بهینه پتانسیل ماتریک خاک پوششی برای دستیابی به بیشینه محصول را ۹۴–۷۹ هکتوپاسکال عنوان نمود، که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد. بررسی های انجام شده توسط Ghasemi *et al*. (2020) نشان داد علی‌رغم اهمیت گنجایش زیاد نگهداری آب در خاک پوششی برای تامین رطوبت مورد نیاز قارچ تکمه‌ای، درصد زیاد رطوبت در خاک پوششی، بدون توجه به تهویه مورد نیاز، منجر به عملکرد بیشتر نمی‌شود، چنانچه کوکوپیت با رطوبت ۵۳۳ درصد، عملکردی برابر ۳۶ درصد ورمی‌کمپوست با رطوبت ۷۰ درصد تولید نمود.

به نظر Visscher (1975) یک لایه پوششی متراکم، در صورتی که در طول دوره رشد رویشی به خوبی سیراب شود و در زمان پیش از میوه‌دهی، موجدار نشده باشد، بهتر از یک لایه پوششی غیرمتراکم عمل می‌کند. علاوه‌براین، یک لایه پوششی متراکم مانع تبادل گاز بین لایه پوششی و هوا در سالن پرورش قارچ شده که نتیجه آن ایجاد CO_2 در لایه پوششی و ترغیب رشد در میسلیوم می باشد. پوشش ضخیم و متراکم باعث غنی‌شدن CO_2 در لایه پوششی، توسعه پریموردیا، و افزایش عملکرد

1Ruffled

شد (Sassine *et al*., 2005). همچنین، همبستگی مثبت قوی بین عملکرد و گنجایش مزرعه نسبی نشان از اهمیت زیاد تناسب رطوبت و گنجایش هوای خاک پوششی در عملکرد قارچ تکمه‌ای دارد.

بررسی های انجام شده توسط Hayes (1981) نشان می‌دهد 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 (Choudhary *et al*., 2009; Dias *et al*., 2021). به نظر Bokaria *et al*. (2014) خاک‌های حاوی نمک‌های محلول کم (هدایت الکتریکی کم) برای تولید قارچ بهتر می‌باشد. همچنین، Pardo *et al*. (2004) سطح آستانه شوری مطلوب برای لایه پوششی را ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر و Gimenez & Gonzalez (2008) مقدار ۱-۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر را پیشنهاد نمودند. هدایت الکتریکی زیاد منجر به کاهش پتانسیل اسمزی در خاک پوششی و عدم جذب آب توسط میسلیوم‌ها شده، در نتیجه میسلیوم‌ها ضعیف و شکننده شده و توان ضخیم شدن و ایجاد ته‌سنجاقی را از دست می‌دهند. بنابراین، تعداد ته‌سنجاقی‌های ظاهر شده در سطح خاک نیز کاهش می‌یابد (Peivast *et al*., 2009). با افزایش شوری، سطح خاک سفت شده و ادامه رشد غیرممکن می‌شود. بعلاوه، شوری زیاد باعث تولید مواد قندی برای غلبه بر پتانسیل اسمزی کم (منفی)، افزایش ماده خشک، کاهش رطوبت قارچ، و کاهش در عملکرد می‌گردد. به عقیده Gulser & Peksen (2003) افزایش ماده آلی زیاد در خاک پوششی باعث کاهش عملکرد شده و هر اندازه نسبت کربن آلی به نیتروژن (C/N) در خاک پوششی بیشتر باشد عملکرد قارچ کمتر خواهد بود. همبستگی منفی عملکرد با دو ویژگی رطوبت و گنجایش هوای زیاد نشان‌دهنده وابستگی عملکرد قارچ به نسبت بهینه آب و هوا در خاک پوششی است. نسبت رطوبت در خاک پوششی باید به گونه‌ای باشد که جابجایی گازها را با مشکل روبرو نسازد. گنجایش مزرعه نسبی یک شاخص مناسب جهت بیان نسبت متناسب آب و هوا در خاک پوششی است. به‌نظر Eren & Boztok (2013) خاک پوششی باید دارای خواص گنجایش نگهداری زیاد آب، سهولت تبادل گاز، و عدم تشکیل سله در سطح خاک باشد.

نتیجه‌گیری

عملکرد تیمارهای T10 و T18 نشان داد که استفاده ۵۰ درصد از ورمی‌کمپوست کود گاوی و ورمی‌کمپوست SMC، ضمن افزایش ۶۳ درصد عملکرد کل و کارایی بیولوژیک نسبت به پیت شمال، موجب کاهش ۵۰ درصدی مصرف پیت گردید. بنابراین، بکارگیری این مواد بعنوان خاک پوششی در تولید قارچ دکمه‌ای می‌تواند از تخریب بیشتر منابع آلی و بستر دریاچه‌ها جلوگیری نماید. تیمار T19 (مخلوط پیت شمال۲۵ درصد و ورمی‌کمپوست SMC ۷۵ درصد) نیز، علیرغم کاهش ۷/۷ درصد در عملکرد نسبت به تیمارهای T10 و T18، با توجه به کاهش ۲۵ درصدی حجم پیت مصرفی قابل توجه بود و می‌تواند یکی از گزینه‌های مطرح در تولید خاک پوششی جایگزین مورد توجه قرار گیرد. اگر رویکرد حفظ محیط زیست بدون برداشت منابع پیت مد نظر باشد می‌توان از تیمار T20 (ورمی‌کمپوست SMC ۱۰۰ درصد) استفاده نمود. گنجایش مزرعه نسبی، توان خاک برای ذخیره‌سازی آب و هوا نسبت به حجم کل منافذ خاک را بیان می‌کند و با توجه به اهمیت تناسب آب و هوا در پرورش قارچ تکمه‌ای، می‌توان آن را در بررسی ویژگی‌ها و کیفیت خاک پوششی مورد توجه قرار داد. این ویژگی خاک پوششی همبستگی مثبت و قویی با عملکرد قارچ تکمه‌ای نشان داد. بررسی مقادیر گنجایش مزرعه نسبی در تیمارهای با عملکرد کل بیشینه نشان داد که دامنه مطلوب آن ۰/۸۴-۰/۸۱ است. بیشینه عملکرد قارچ تکمه‌ای در دامنه مطلوب گنجایش هوای کل به تخلخل کل خاک (برابر ۰/۱۹-۰/۱۶) تولید شد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی وزارت عتف، دانشگاه شهرکرد، بنیاد ملی نخبگان و همکاری شرکت کشت و صنعت نگین فصل انجام شد. بدین وسیله از مساعدت مدیریت و کارکنان شرکت کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

پیوست، غلامعلی؛ شاهبداغی، جواد و صدقی مقدم، مجید (۱۳۸۸). بررسی استفاده از هیدروژل در خاک پوششی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus* L.). *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۰(۱)، ۲۳-۲۸.

حسینی، سیدحسن؛ رفیعی الحسینی، محمد و برزگر، رحیم (۱۳۹۶). آثار جایگزینی ورمی‌کمپوست و پرلیت با پیت به عنوان خاک پوششی بر رشد و عملکرد قارچ دکمه‌ای(*Agaricus bisporus*). *به زراعی کشاورزی*، ۱۹(۴)، ۸۳۷-۸۵۲.

رضایی، شیرین (۱۳۸۹). امکان جایگزینی خاک پوششی پیت با کمپوست مصرف شده درتولید قارچ خوراکی دکمه ای سفید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی امیر لکزیان. مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکده کشاورزی.

رمضان، داریوش و سیاه سر، براتعلی (۱۳۸۹). ارزیابی تاثیر انواع خاک پوششی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus* L.). *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۱(۴)، ۳۹۳-۳۹۹.

سلطانی، افشین (۱۳۹۰). *کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری*. ویراست دوم. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

شیرانی، حسین (۱۳۹۶). شبکه‌های عصبی مصنوعی با رویکرد کاربرد در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. رفسنجان: انتشارات دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان.

فارسی، محمد و پوریان‌فر، حمیدرضا (۱۳۹۰). *پرورش و اصلاح قارچ خوراکی تکمه‌ای سفید*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کاظمی زهرانی، نجمه (۱۳۹۸). جایگزینی پیت به عنوان خاک پوششی قارچ دکمه‌ای با استفاده از پسماندهای آلی مختلف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حسین شریعتمداری و حمیدرضا عشقی‌زاده. اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان. دانشکده کشاورزی. ۸۰ ص.

محمدی گل‌تپه، اابراهیم و پورجم، ابراهیم (۱۳۸۳). *اصول پرورش قارچهای خوراکی*. چاپ چهارم. تهران: دفترنشرآثارعلمی دانشگاه تربیت مدرس.

واروی‌پور، مریم (۱۳۸۹). *خاکشناسی عمومی*. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

وحید آفاق، هایده (۱۳۷۶). *بازیافت کامپوست برگشتی و استفاده از آن به عنوان خاک پوششی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حسین ریاحی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی. دانشکده علوم. ۱۴۲ ص.

REFERENCES

Andrejko, M. J., Fiene, F., & Cohen, A. D. (1983). Comparison of ashing techniques for determination of the inorganic content of peats. In *Testing of peats and organic soils*. (P.M. Jarrett, Ed.) ASTM International.

Ayyub, C. M., Khan, N. A., Rehman, A., Pervez, M. A., Akhtar, N., & Ullah, I. (2014). Evaluation of various casing materials for enhancing growth and yield of button mushroom (*Agaricus bisporus* Lange). *Pakistan Journal of Phytopathology*, 26(1), 125–132.

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. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.034.

Bokaria, K., Balsundram, S. K., Bhattarai, I., & Kaphle, K. (2014). Commercial production of milky mushroom (*Calocybe indica*). *Merit Research Journal of Agricultural Science and Soil Sciences*, 2(2), 032-037.

Burton, K. S., & Noble, R. (1993). The influence of flush number, bruising and storage temperature on mushroom quality. *Postharvest Biology and Technology*, 3(1), 39-47.

Choudhary, D. K., Agarwal, P. K., & Johri, B. N. (2009). Characterization of functional activity in composted casing amendments used in cultivation of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *Indian Journal of Biotechnoly*, 8, 97-109.

Choudhary, D.K. (2011). First preliminary report on isolation and characterization of novel *Acinetobacter* spp. in casing soil used for cultivation of button mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *International Journal of Microbiology*, 2011. doi:10.1155/2011/790285

De la Fuente, M., Gordillo, R. M., & Santa Clara, U. C. C. E. (2003). *Developing technology to grow*

mushrooms from recycled urban waste and food scraps-paper waste (Vermicompost). UCCE Santa Clara Country. Specialty Crops Research Program, Annual Report.

Dhar, B.L. (1994). Mushroom composting for Agaricus bisporus/bitorquis. In Nair MC, Gokulapala C, ADNA. 1L. Eds. *Advances in Mushroom Biotechnology* (pp. 489-490). Jodhpur: Scientific Publishers.

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.

Eren E., Boztok, K. (2013). Possibility of using different wastes as casing material in *Agaricus bisporus* mushroom cultivation. Iğdır University, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 3(1), 9-16. https://doi.org/10.29136/mediterranean.971682.

FAO (2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations Agriculture Statistics*. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Accessed May 29, 2020.

Farsi, M., & Pourianfar, H. (2011). *Cultivation and breeding of the white button mushroom*, 2rd ed. Mashhad: Jahad Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian).

Galli, E., Tomati, U., Grappell, A., & Dilena, G. (1990). Effect of Earthworm casts on protein synthesis in *Agaricus bisporus*. *Biology and Fertility of Soils*, 9, 290-291.

Ghasemi, K., Emadi, M., Bagheri, A., & Mohammadi, M. (2020). Casing material and thickness effects on the yield and nutrient concentration of *Agaricus bisporus*. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(3), 958-965.

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.

Gupta, M., Yang, J., & Roy, C. (2002). Density of softwood bark and softwood char: procedural calibration and measurement by water soaking and kerosene immersion method. *Fuel*, 81(10), 1379-1384. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00043-1.

Gulser, C. & Peksen, A. (2003). Using tea waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation. *Bioresource Technology*, 88, 153-156. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00279-1.

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* Lange (Pilat). In: NG Nair (Ed.) Proceedings of the *Eleventh International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi*, Australia, AD Clift. Sydney.

Hosseini, H., Rafieiolhossaini, M. & Barzegar, R. (2017). Effects of the replacing vermicompost and perlite instead of peat as casing soil on growth and yield of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 19 (4), 832-852. https://doi.org/10.22059/jci.2018.220952.1583. (In Persian).

Kalberer, P. P. (1990). Influence of the water potential of the casing soil on crop yield and on dry-matter content, osmotic potential and mannitol content of the fruit bodies of *Agaricus bisporus*. *Journal of Horticultural Science*, 65(5), 573-581. https://doi.org/10.1080/00221589.1990.11516095.

Kazemi Zahrani, N. (2019). *The feasibility of casing soil production for cultivation of Agricus bisporus using some organic wastes*. MSc Thesis. Isfahan: Isfahan University of Technology, College of Agriculture. (In Persian).

Keestrea, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, 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. https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016.

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&C.) strain CI-524. *International*

Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(2), 317–322. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.041.

Kim, Y. G., Lee, B. J., Lee, S. G., & Lee, B. E. (2018). Study on new casing materials of *Agaricus bisporus*. *Journal of Mushroom*, 16(3), 147–154.

Martos, E.T., Zied, D.C., Junqueira, P.P.G., Rinker, D.L., Dasilva, R., Toledo, R.C.C. & Dias, E.S. (2017). Casing layer and effect of primordia induction in the production of *Agaricus subrufescens* mushroom. *Agriculture and Natural Resources*, 51(4), 231–234. https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.04.003.

Mohammadi Goltapeh, E., Pourjam, E. (2004). *Principle's of mushroom cultivation*. 4rd Ed. Tehran: Tarbiat Modarres University Press (In Persian).

Nirupa, K. & Kudada, N. (2018). Effect of casing soil thickness on growth and yield of milky mushroom (*Calocybe indica*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 3619-3623.

Noble, R., Dobrovin-Pennington, A., Evered, C.E. & Mead, A. (1999). Properties of peat-based casing soils and their influence on the water relations and growth of the mushroom (*Agaricus bisporus*). *Plant and Soil*, 207(1), 1–13.

Noble R., Fermor TR., Lincoln S., Dobrovin-Pennington A., Evered C., Mead A. & Li R. (2003) Primordia initiation of mushroom (*Agaricus bisporus*) strains on axenic casing materials. *Mycologia*, 95(4), 620-629. https://doi.org/10.1080/15572536.2004.11833066.

Owaid, M. N., Barish, A., & Shariati, M. A. (2017). Cultivation of *Agaricus bisporus* (button mushroom) and its usages in the biosynthesis of nanoparticles. *Open Agriculture*, 2(1), 537-543. https://doi.org/10.1515/opag-2017-0056.

Pathak, V. N., Yadav, N., & Gaur, M. (2000). *Mushroom production and processing technology*. Jodhapur: Agrobios.

Pardo, A., De juan, A. J., Pardfo, J., & Pardp, J. E. (2004). Assessment of different casing materials for use as peat alternatives in mushroom cultivation. Evaluation of quantitative and qualitative production parameters. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2(2), 267-272.

PardoGiménez, A., Pardo, J. E., & Zied, D. C. (2017). Casing materials and techniques in *Agaricus bisporus* cultivation. In *Edible and medicinal mushrooms*: *Technology and applications* (pp.149-174). New York: Wiley Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch7.

Polat, E., & Ömer, Ö. N. E. L. (2021). An alternative new casing material in the production of *Agaricus bisporus*. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(3), 261-266. https://doi.org/10.29136/mediterranean.971682.

Peivast, Gh. A., Shahbedaghi, G. & Sedghi Moghadam, M. (2009). The effect of hydrogel in casing soil for button mushroom (*Agaricus bisporus* L.). *Iranian Journal of Horticaltural Sciences*, 40(1), 23-28. http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008482.1388.40.1.3.0. (In Persian).

Ramezan, D., Siahsar, B. (2011). Evaluation of different casing soils on quantitative and qualitative characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(4), 393-399. http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.2008482.1389.41.4.10.0. (In Persian).

Raviv, M., Lieth, J.H. (2008). *Soilless culture: Theory and practice*. 1rd ed. London: Elsevier

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Loeppert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T.; Sumner, M. E. (Eds). *Methods of Soil Analysis*. Part 3. 3rd ed. (pp. 417- 436). Madison: American Society Agronomy. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14.

Riley, J. L. (1986). *Laboratory methods for testing peat* (p25). Ontario peatland inventory project, Sudbury.

Rezaei, Sh. (2011). *The possibility of peat replacement with spent mushroom compost in Agaricus bisporus production*. MSc Thesis. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture. (In Persian).

Reynolds W.D., & Topp G.C. (2007). Soil water desorption and imbibition: Tension and pressure techniques. In Carter M.R., & Gregorich E.G. (ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2rd ed. (pp. 981-997). Boca Roton: Canadian Society of Soil Science, Taylor & Francis.

Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M., & Tan, C. S. (2008). Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146(3-4), 466-474. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.017.

Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., & Yang X.M. (2009). Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152, 252–263. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009

Sassine, Y.N., Ghora, Y. Kharrat, M. Bohme, M & Abdel-Mawgoud, A.M.R. (2005). Waste paper as an alternative for casing soil in mushroom (*Agaricus bisporus*) production. *Journal of Applied Sciences Research,* 1(3), 277–284.

Sassine, Y.N. Abdel-Mawgoud, A.M.R., Ghora Y. & Bohme, M. (2007). Effect of different mixtures with waste paper as casing soil on the growth and production of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences,* 1(2), 96–104.

Shirani, H. (2017). *Artificial neural networks with an application in agriculture and natural resource science*. Rafsanjan: Vali-e-Asr University of Rafsanjan Press. (In Persian).

Soltani, A. (2011). *Application of SAS in statistical analysis.* 2rd ed. Mashhad*:* Jahad Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian).

Stamets, P., & Chilton, J. S. (1983). *The mushroom cultivator: a practical guide to growing mushroom at home*. Washington: First Washington

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Loeppert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T.; Sumner, M. E. (Eds.). *Methods of Soil Analysis*. Part 3. 3rd ed. (pp. 475- 490). Madison: American Society Agronomy. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16.

Toker, H., Baysal, E., Yigitbasi, O. N., Colak, M., Peker, H., Simsek, H., & Yilmaz, F. (2007). Cultivation of *Agaricus bisporus* on wheat straw and waste tea leaves based composts using poplar leaves as activator material. *African Journal of Biotechnology*, 6(3), 204–212.

Vahid Afagh, H. (1997). *Recycling of spent mushroom compost (SMC) and reusing it as a casing soil*, MSc Thesis, Tehran: Shahid Beheshti University, Faculty of Science, 142 P. (In Persian).

Varavipour, M. (2010). *General Soil Science*.Tehran: Payame Noor University Press. (In Persian).

Visscher, H. R. (1975). Structure of mushroom casing soil and its influence on yield and microflora. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 23, 36-47. https://doi.org/10.18174/njas.v23i1.17199.