دستورالعمل فنی

دستورالعمل تولید بیوکمپوست از پسماندهای برنج

نویسندگان:

رضا شرفی

غلامرضا صالحی جوزانی

ابراهیم کریمی

حسین قنواتی

مژگان کوثری

یکی از مشکلات بخش کشاورزی در جهان از جمله ایران، تولید میلیون‌ها تن انواع پسماند از قبیل کاه و کلش برنج است که متاسفانه علی‌رغم دارا بودن ارزش اقتصادی و پتانسیل استفاده در صنایع مختلف، در بسیاری از نقاط دنیا کاربرد خاصی پیدا نکرده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیش از هشتاد درصد کاه و کلش برنج تولیدی سوزانده می‌شود که سوزاندن یک تن آن باعث تولید بیش از دو کیلوگرم انواع گازهای گلخانه‌ای و سایر آسیب‌های زیست‌محیطی می‌شود. استفاده از میکروارگانیسم‌های واجد فعالیت هیدرولازی بالا در راستای تبدیل پسماندها به کمپوست، یکی از روش‌های جایگزین سوزاندن و سازگار با محیط زیست به شمار می‌رود. در دستورالعمل حاضر فرایند تولید سریع بیوکمپوست غنی شده از کاه و کلش برنج با استفاده از افزودنی‌های ارزان قیمت، باکتری‌ها و قارچ‌های بومی و مهندسی فرایندهای زیستی به زبان ساده ارائه شده است.

کرج، بلوار شهید فهمیده، روبروی بانک کشاورزی

تلفن: ۳۲۷۰۹۶۵۲ - ۰۲۶ فکس: ۳۲۷۰۱۰۶۷ - ۰۲۶

صندوق پستی: ۳۱۵۳۵-۱۸۹۷ ۳۲۷۰۳۵۳۶ - ۰۲۶

Shahid Fahmideh Blvd, Karaj, Iran.

Tel: +9826-3270 9652 Fax: +9826-3270 1067

+9826-3270 3536 P.O.Box: 31535-1897

web: www.abrii.ac.ir e-mail: info@abrii.ac.ir

بسم الله الرحمن الرحيم

دستورالعمل تولید بیوکمپوست از پسماندهای برنج

رضا شرفی، غلامرضا صالحی جوزانی، ابراهیم کریمی

حسین قنواتی، مژگان کوثری

نوع نشریه: دستورالعمل فنی

نام نشریه: تولید بیوکمپوست از پسماندهای برنج

نویسندگان: رضا شرفی، غلامرضا صالحی جوزانی، ابراهیم کریمی، حسین قنواتی، مژگان کوثری

ویراستار علمی: حسین صفاری

ویراستاران ادبی: حسن رهنما، عصمت جعفری نژاد

طراحی: محمد جداری

تهیه شده در: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی

شمارگان:۳۰

نوبت انتشار: اول

سال انتشار: ۱۴۰۱

مسئولیت صحت مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی ۶۲۱۸۳ به تاریخ ۱۴۰۱/۰۶/۲۲ است.

فهرست مطالب

مقدمه ۵
زیرساخت‌ها، مواد و امکانات تولید کمپوست ۱۰
مساحت زمین مورد نیاز ۱۰
دسترسی به آب شیرین ۱۱
چاله یا استخر ۱۱
طراحی و ساخت دستگاه همزن ۱۱
فضای سقف‌دار ۱۲
کاه و کلش برنج و خرد کردن آن ۱۳
تهیه کود مرغی (یا کود دامی) و کود اوره ۱۳
خرید میکروارگانیسم‌های موثر در فرایند کمپوست (EM) ۱۳
مراحل اجرای فرایند تولید کمپوست از کلش برنج ۱۵
آماده‌سازی محوطه عمل‌آوری بیوکمپوست ۱۶
تولید انبوه سویه‌های میکروبی بومی موثر ۱۶
جمع‌آوری کاه و کلش برنج و خیساندن توده ۱۸
اضافه کردن مواد افزودنی به توده کاه و کلش خیسانده شده و پیاده‌سازی فرایند تولید بیوکمپوست ۲۱
تنظیم رطوبت و هوادهی کیسه‌ها ۲۲
نحوه شناسایی یک کمپوست بالغ و باکیفیت ۲۳
منابع ۲۴
پیوست‌ها ۲۶

۱- مقدمه

یکی از مشکلات حال حاضر بخش کشاورزی در دنیا و ایران، تولید میلیون‌ها تن انواع پسماند از قبیل کاه و کلش گیاهان زراعی، باگاس و سرشاخه‌های خشکیده و حاصل از هرس درختان مثمر و غیرمثمر می‌باشد که متاسفانه علی‌رغم دارا بودن ارزش اقتصادی و پتانسیل استفاده در صنایع مختلف، در بسیاری از نقاط دنیا کاربرد خاصی پیدا نکرده‌اند (Pourmazaheri *et al*., 2015; Chandel *et al*., 2012). برنج به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان و کشور ما است که با سطح وسیعی کشت می‌شود. میزان سطح زیر کشت برنج در دنیا حدود ۱۶۳ میلیون هکتار و میزان تولید برنج سفید در دنیا حدود ۵۰۴ میلیون تن (تولید شلتوک حدود ۷۵۰ میلیون تن) در سال می‌باشد (Statista, 2021) (شکل ۱).

شکل ۱- نمایی از کشت و کار برنج در مزرعه

با توجه به سطح وسیع کشت این محصول و تناژ بالای تولید آن، پس از برداشت محصول حدود ۱۳۰۰ میلیون تن انواع بقایای کاه و کلش برنج و سبوس پس از فراوری به جا می‌ماند (Shafie, 2016). به ازای تولید این میزان محصول، تقریبا تا ۱/۵ برابر یعنی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۵۰ میلیون تن کاه و کلش (۵-۴/۵ تن در هکتار) و حدود ۱۴۰ -۱۳۰ میلیون تن سبوس برنج سالانه در سطح جهانی تولید می‌شود. از این میزان، کمتر از ۲۰ درصد به عنوان علوفه و مصارف دیگر استفاده می‌شود و ۸۰ درصد بقیه سوزانده شده یا در

مزرعه باقی می‌ماند (Feng *et al*., 2021; Santos *et al*., 2017). در کشور ما سطح زیر کشت برنج نزدیک به ۶۰۰ هزار هکتار است و با توجه به تولید سالانه حدود سه میلیون تن شلتوک برنج (۱/۸ میلیون تن برنج سفید)، تقریبا ۱/۵ برابر این میزان یعنی حدود ٤/۵ میلیون تن کاه و کلش تولید می‌شود. در ساختار شیمیایی کاه و کلش برنج میزان زیادی از سلولز (۳۸ درصد)، همی‌سلولز (۲۵ درصد) و لیگنین (۱۲ درصد) یافت می‌شود که به همین دلیل به عنوان خوراک برای دام ارزش غذایی بالایی نداشته و به عنوان یک ماده غذایی سخت‌خور برای دام محسوب می‌شود. متاسفانه بخش عمده‌ای از کاه و کلش تولیدی در شالیزارهای کشور بدون کاربرد بوده و با سوزاندن و یا دفع در مزارع برنج از بین می‌رود، به‌طوری‌که سوزاندن کاه و کلش برنج به یکی از معضلات زیست محیطی استان‌های گیلان و مازندران تبدیل شده است (شکل ۲). سوزاندن بقایای گیاهی عوارض ناخوشایندی را بر جای گذاشته و سلامت محیط زیست را به خطر می‌اندازد، زیرا میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید را از بین برده و از طرفی ساختار بافت خاک را نیز به هم می‌ریزد (Feng *et al*, 2021). باقی ماندن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول، معضل بزرگی برای کاشت محصولات بعدی شده است. مشخص شده است که سوزاندن یک تن کاه و کلش برنج منجر به تولید ۲/۲-۲ کیلوگرم انواع گازهای گلخانه‌ای از قبیل متان و اکسید نیتروژن وارد محیط زیست می‌کند (Nguyen *et al*., 2016). امروزه به علت ناآشنایی بسیاری از کشاورزان برای رها و آزاد کردن زمین به منظور کشت بعدی، بقایای گیاهی را می‌سوزانند و یا دور می‌ریزند. در صورتی‌که با بکارگیری تکنولوژی‌های جدید و با فرآوری بقایای گیاهی می‌توان استفاده‌های متعددی از آنها نمود. تحقیقات طولانی موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج نشان داده است که جمع‌آوری کاه و کلش تاثیری در میزان عملکرد برنج ندارد (Gadde *et al*., 2009). لذا تبدیل اقتصادی کاه و کلش برنج به فراورده‌های زیستی با ارزش می‌تواند به عنوان یکی از مناسب‌ترین راهکارها برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست بوده، و از طرفی باعث بهره‌برداری اقتصادی و تبدیل آن به یک ماده زیستی باشد. براساس تحقیقات صورت گرفته اخیر، به کمک ماشین‌آلات جمع‌آوری و یا جمع‌آوری دستی می‌توان ۲-۱/۵ تن در ساعت کاه و کلش را جمع‌آوری کرد و در کنار مزرعه با حداقل امکانات آن را به کود کمپوست تبدیل نمود.

شکل ۲- نمونه‌هایی از سوزاندن کاه و کلش مزارع برنج در شمال کشور

کمپوست شدن فرآیند پیوسته‌ای است که در آن مواد آلی موجود در پسماندها و ضایعات کشاورزی و شهری توسط میکروارگانیسم‌ها در حضور رطوبت و گرما، در محیط هوازی و شرایط کنترل شده تجزیه و به مواد پایدار آلی و معدنی تبدیل می‌شوند. این فرایند شامل سه مرحله مزوفیل (شروع فرایند تجزیه توسط میکروارگانیسم‌هایی که توانایی فعالیت تا دمای ٤٠ درجه را دارند)، ترموفیل (قسمتی از فرایند که دمای مواد در حال تجزیه به حدود ٦٠ تا ٨٠ درجه می‌رسد) و مرحله بلوغ (که تجزیه مواد آلی در دمای مزوفیل (کمتر از ٤٠ درجه سانتی‌گراد) تکمیل می‌شود) است. کمپوست دارای خصوصیات مفیدی برای رشد گیاهان زراعی و باغی دارد و به عنوان یک کود با کیفیت که می‌تواند تا حدود زیادی جایگزین کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) شود و مصرف آنها را تا حدود زیادی کاهش دهد و اثرات سوء نیز بر روی رشد گیاه و محیط زیست باقی نمی‌گذارند. کمپوست تولیدی در این فرایند به اندازه کافی پایدار بوده و بدون آن که عوارض زیست محیطی در پی داشته باشد، قابل انبار شدن و یا مصرف کردن است. از طرف دیگر کمپوست به عنوان یک عامل ایجاد تخلخل (تامین هوا در اطراف ریشه) و حفظ رطوبت خاک نیز مطرح است (شکل ٣ و ٤).

شکل ٣- نمونه‌ای ازکمپوست حاصل از پسماندهای کشاورزی

مهم‌ترین عامل موثر در عملکرد و کیفیت مطلوب محصولات کشاورزی، حاصلخیزی خاک است که این عامل خود تحت تأثیر سه فاکتور ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد اشباع کاتیون‌های قلیایی خاک می‌باشد. با توجه به این نکته که ظرفیت تبادل کاتیونی خود به مقدار زیادی تابع میزان ماده آلی موجود در خاک است، بنابراین اهمیت سهم ماده آلی به کمک کمپوست در بالا بردن کمیت و کیفیت محصول بیشتر ملموس می‌شود. افزایش ماده آلی خاک به تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه برای دراز مدت، زنده کردن خاک از طریق افزایش جانداران ذره‌بینی هوازی مفید، اصلاح ساختمان خاک، تنظیم pH (اسیدیته) خاک، ذخیره‌سازی آب در خاک و کاهش مصرف آب در خشکسالی‌ها و مناطق کم آب کمک می‌کند. وجود ماده آلی در خاک، منجر به آزاد شدن تدریجی آب و دسترسی گیاه می‌شود. همچنین ماده آلی باعث شتاب بخشیدن به بازسازی خاک، کمک به اصلاح ساختمان خاک در اراضی شور، افزایش اکسیژن خاک، کاهش تبخیر و تعرق، جلوگیری از سله بستن خاک، کاهش آفات و بیماری‌ها (کاهش مصرف سموم دفع آفات و مقاومت گیاه به ابتلاء به انواع بیماری‌ها)، افزایش مقاومت گیاه به سرما، گرما وتنش‌های محیطی، سهولت در جذب مواد غذایی موجود در خاک توسط گیاه، کاهش خطر آلاینده‌ها درخاک و اثرخنثی کنندگی آنها و... می‌شود (Adeleke *et al*., 2021; Castiglione *et al*., 2021) (شکل ٤).

شکل ٤- مزایای کود کمپوست در کشاورزی

۲- زیرساخت‌ها، مواد و امکانات تولید کمپوست

۲-۱- مساحت زمین مورد نیاز:

بسته به میزان حجم توده کاه و کلش مزارع برنج کشاورز، مساحت زمین مورد نیاز معمولا از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر متفاوت است. کشاورزان می‌توانند از زمین‌های بایر کنار مزرعه خود و یا از خود مزرعه بعد از برداشت برنج استفاده کنند (شکل ۵).

شکل ۵- نمونه‌ای از زمین مورد استفاده برای تولید کمپوست

۲-۲- دسترسی به آب شیرین

جهت خیساندن و تامین رطوبت مورد نیاز در طی فرآیند ضروری است. وجود آب و خاک شور در منطقه تولید کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار شوری یا هدایت الکتریکی (EC) می‌شود که اثر بسیار منفی در کیفیت و اثرگذاری کمپوست تولیدی دارد.

۲-۳- چاله یا استخر

در صورت وجود چاله یا استخر به عمق حدود ۱/۵ متر با عرض و طول مورد نیاز جهت خیساندن توده کاه و کلش جمع‌آوری شده (در صورتی‌که استخر سیمانی باشد، بسیار مطلوب‌تر خواهد بود، زیرا از ورود گل و لای و شوری به داخل توده کلش برنج جلوگیری می‌شود). در صورت عدم وجود چاله بزرگ یا استخر، کشاورز می‌تواند به مدت دو شبانه‌روز توده کاه و کلش را آب‌پاشی کند تا به طور کامل خیس شود.

۲-٤-طراحی و ساخت دستگاه همزن (turner)

در صورتی که حجم توده کاه و کلش زیاد باشد و امکان به هم زدن و هوادهی توده به کمک کارگر دشوار و پر هزینه باشد، بهتر است از همزن استفاده شود. دستگاه همزن مثل گاوآهن به تراکتور وصل می‌شود و قادر به هم زدن کامل توده است (شکل ٦).

شکل ٦- نمونه‌هایی از ترنر مورد استفاده در تولید کمپوست از پسماندها

۲-۵- فضای سقف‌دار

در صورتی که در اطراف مزرعه برنج، کشاورزان دارای فضای مسقف برای محوطه ویندروها (ریسه‌ها) جهت جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به توده‌ها و جلوگیری از تبخیر زیاد باشد، می‌توانند در کاهش تبخیر وتسریع فرایند خیلی موثر باشد. هر چند این موضوع اجباری نیست و کشاورزان می‌توانند در فضای باز هم تولید کمپوست را انجام دهند (شکل ۷).

شکل ۷- نمونه‌ای از فضاهای مسقف برای تولید کمپوست ردیفی

۲-۶- کاه و کلش برنج و خرد کردن آن

برای انجام فرایند تولید کمپوست لازم است کاه و کلش برنج از شالیزار جمع‌آوری و به محل تولید کمپوست منتقل شود. ضمنا برای دستیابی به کمپوست با کیفیت لازم است قبل از شروع فرایند، کاه و کلش با خرمن‌کوب خرد شوند و به قطعات دو تا سه سانتی‌متری تبدیل شوند (شکل ۸).

شکل ۸- جمع‌آوری کاه و کلش و خرد کردن آن

۲-۷- تهیه کود مرغی (یا کود دامی) و کود اوره

یکی از نیازمندی‌های اصلی تولید کمپوست از کاه و کلش و برنج، وجود کود مرغی یا دامی و کود اوره است که نقش اساسی در تسریع فرایند و همچنین افزایش کیفیت کمپوست تولیدی دارد. دلیل این موضوع، وجود درصد ازت بالا در این کودها می‌باشد که باعث کاهش نسبت کربن به ازت در کاه و کلش برنج می‌شود.

۲-۸- خرید میکروارگانیسم‌های موثر در فرایند کمپوست (EM)

نظر به اینکه کلش برنج دارای یک ساختار پیچیده لیگنوسلولزی هستند، لذا تجزیه آن نیاز به حضور میکروارگانیسم‌های با فعالیت هیدرولازی قوی (سلولاز، بتاگلوکوناز، همی‌سلولاز و لیگنیناز) است. یکی از مهم‌ترین عوامل در فرآیند تولید کمپوست جمعیت میکروبی موجود در فرآیند هوازی واکنش است و نوع فلور میکروبی می‌تواند نقش بسیار مهمی در کیفیت کمپوست تولیدی داشته باشد (Wu *et al.*, 2020; Pourmazaheri *et al.*, 2015).

لذا اضافه کردن میکروارگانیسم‌های مفیدی که توانایی تجزیه سریع کاه و کلش برنج را دارند، بسیار دارای اهمیت است. خوشبختانه در حال حاضر سویه‌های میکروبی موثر در فرایند کمپوست کاه و کلش برنج در دسترس هستند و قابلیت استفاده برای این موضوع را دارند. ضمنا از میکروارگانیسم‌های EM موجود در بازار نیز می‌توان برای این کار استفاده نمود. بدین منظور لازم است از باکتری‌ها و قارچ‌های ترموفیل و مزوفیل دارای این نوع فعالیت در فرآیند استفاده شود. طبق نتایج پروژه‌های اجرا شده در پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، میکروارگانیسم‌ها شامل *Bacillus licheniformis*، *B. subtilis* و قارچ‌های *Thermoascus aurantiacus* و *Trichoderma sp.* اثرات بسیار خوبی در تسریع فرایند تولید کمپوست از کاه و کلش برنج داشتند (شکل ۹).

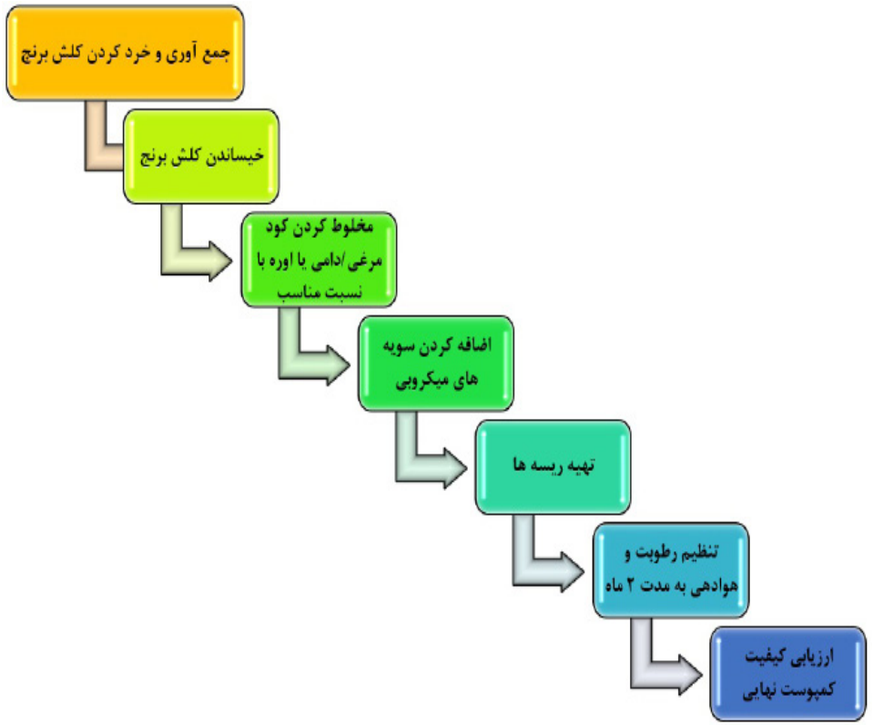
نکات مهم:

- استفاده از ترکیبی از قارچ‌ها و باکتری‌های ترموفیل و مزوفیل تولید کننده آنزیم‌های موثر در تجزیه کمپوست می‌تواند کارایی تولید کمپوست را بالا ببرد.
- میزان مصرف این میکروب‌ها باید در پسماند نهایی حدود ۱۰۶ -۱۰۵ سلول در گرم مناسب است.

شکل ۹- باکتری *Bacillus licheniformis* (تصویر سمت راست) و قارچ *Thermoascus* sp. (سمت چپ) مورد استفاده در فرآیندتولید کمپوست

۳- مراحل اجرای فرآیند تولید کمپوست از کلش برنج

فرآیند کلی تولید کمپوست از کلش برنج به شکل شماتیک در شکل شماره ۱۰ آورده شده است.



شکل ۱۰- فرآیند کلی تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج

۱-۳- آماده‌سازی محوطهٔ عمل‌آوری بیوکمپوست

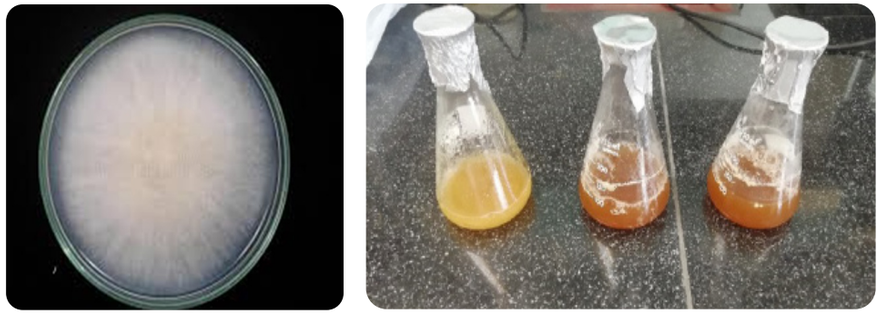
پیش از آغاز روند کمپوست‌سازی، محوطه تولید کمپوست باید به گونه‌ای مطلوب آماده شود. این محوطه باید دارای سطح صاف بوده و زهکشی خوبی داشته باشد تا هنگام بارندگی هیچ گونه آسیبی از نظر جاری شدن آب نداشته باشد در صورتی‌که محوطه کمپوست‌سازی سیمان شده یا آسفالت شده باشد، کارایی فرآیند بسیار بهتر خواهد بود، زیرا امکان اختلاط خاک با توده از بین می‌رود. بهتر است که محوطه انتخابی نسبت به بقیه قسمت‌های منطقه سطح بالاتری داشته باشد. فاکتور مهم دیگر در خصوص محوطه تولید کمپوست، دسترسی به آب شیرین کافی برای انجام خیساندن اولیه کلش برنج و همچنین تامین رطوبت توده (۶۰ تا ۷۰ درصد) در طی فرآیند است. همچنین باید توجه داشت که حضور بیش از حد نور خورشید یا باران تأثیرات معکوسی بر روی تعادل رطوبتی در داخل توده کمپوست می‌گذارد، بنابراین مسقف بودن محوطه ویندروها کمک شایانی به بهبود فرآیند تولید کمپوست می‌کند. از سوی دیگر جریان هوا باید به گونه‌ای باشد که هوادهی مناسب توده کمپوست به منظور بازدهی حداکثری میکروارگانیسم‌ها به منظور تجزیه هرچه بیشتر مواد اولیه و رسیدن به بلوغ کمپوست تامین شود.

۲-۳- تولید انبوه سویه‌های میکروبی بومی موثر

باتوجه به عدم آشنایی و عدم دسترسی کشاورزان به تجهیزات تولید میکروارگانیسم‌های مفید موثر در فرایند تولید کمپوست (EM)، بهترین راه‌حل، خرید فرمولاسیون این میکروارگانیسم‌ها از شرکت‌های تولید کننده این قبیل میکروارگانیسم‌ها است. میزان مصرف این فرمولاسیون در فرایند کمپوست به صورت ۱۰۹ سلول میکروارگانیسم (CFU) در کیلوگرم توده کاه و کلش است.

در صورتی که تولید کمپوست از کاه و کلش برنج توسط شرکت تولید کننده کمپوست صورت پذیرد، تولیدکننده می‌تواند میکروارگانیسم‌های موثر را خریداری نماید و یا تولید آنها را برون‌سپاری کند. ضمن اینکه می‌تواند با ایجاد زیرساخت تولید این میکروب‌ها، راسا نسبت به تولید آنها اقدام نماید. به منظور تولید انبوه سویه‌های موثر در فرایند کمپوست در شرایط مناسب، نیاز به وجود فرمانتور با حجم ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر می‌باشد. در صورت نیاز به حجم کم، می‌توان از دستگاه شیکر انکوباتور استفاده کرد. در صورت عدم وجود امکانات فوق‌الذکر، می‌توان تولید سویه‌ها را به شکل پیمانکاری برون سپاری کرد.

بر اساس نتایج بدست آمده در تحقیقات پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سه سویه باکتریایی شامل *Bacillus subtilis*، *B. licheniformis* و *Nocardiopsis alba* و دو سویه قارچی بومی شامل *Thermoascus auran-tiacus* و *Trichoderma* sp. واجد فعالیت هیدرولازی قوی بوده و در فرایند تولید کمپوست از پسماندهای برنج دارای کارایی بالایی بودند. در این راستا به منظور استفاده از سه باکتری فوق‌الذکر، لازم است در شرایط بهینه هر یک از سویه‌ها کشت شود و حداقل زیست توده باکتری‌ها با غلظت 10^9 cfu/ml تهیه شود. برای این منظور محیط کشت باکتریایی مایع Tryptic Soy Broth و یا محیط کشت صنعتی حاوی (ملاس و لیکور ذرت) به مدت ۱۴ تا ۲۴ ساعت در ارلن یا فرمانتور در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به میزان سه روز با دور ۱۵۰ rpm تا رسیدن به 10^9 cfu به میزان تولید می‌شوند. سویه‌های قارچی *Thermoascus aurantiacus* و *Trichoderma* sp. در محیط کشت جامد Potato Dextrose Agar تکثیر می‌شوند. در ادامه، بلوک‌هایی از کشت PDA برای تولید اینوکولوم قارچی بر روی سبوس گندم سترون شده انداخته و در انکوباتور تحت دمای ۵۰ درجه‌سانتی‌گراد تا زمان پر شدن بافت میسلیومی قارچ بر روی سبوس گندم انکوبه می‌شود. در خلال این دوره نیز هر دو روز یکبار هوادهی ارلن‌های محتوی سبوس و بلوک قارچی با دست انجام می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- کشت ارلنی سویه‌های باکتریایی و کشت پلیتی قارچی جهت استفاده در تولید کمپوست از تیمارهای کاه و کلش برنج

بعد از تولید باکتری‌ها و قارچ‌های مورد استفاده، جهت تعیین تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های مایع تعداد در هر میلی‌لیتر و در نمونه‌های جامد در هر گرم تعیین و محاسبه می‌شود. برای این کار معمولا از روش سری رقت استفاده می‌شود. در این راستا، لازم است رقت‌های مختلف از باکتری تهیه و در محیط کشت آن به مدت ۱۸ الی ۲٤ ساعت در انکوباتور با دمای معین کشت، سپس تعداد پرگنه‌های (کلنی‌های) ناشی از تغذیه، رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های موجود در هر پتری‌دیش بدست می‌آید. رقتی که در آن تعداد کلنی باکتری در حد ۳۰ تا ۳۰۰ باشد، به عنوان رقت پایه در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، هنگامی‌که از محلول‌های رقیق‌کننده، عمل کشت دادن در محیط‌های جامد (در پتری دیش) صورت می‌گیرد، میکروارگانیسم‌های موجود در نمونه با وضعیت مناسب و شرایط آماده‌تری شروع به تغذیه، رشد و تکثیر می‌نمایند.

Total count of bacteria (CFU) = پرگنه‌های شمارش شده تعداد × عکس درجه رقت

پرگنه‌های حاصل شده در دوره گرماگذاری در مرحله بعد از کشت و طی دوره رشد و تکثیر محیط کشت نشان‌دهنده تعداد تقریبی میکروارگانیسم‌ها در مقدار کشت داده شده از نمونه می‌باشد. به این صورت که هر یک پرگنه نمایانگر حداقل یک میکروارگانیسم فعال اولیه در نمونه به شمار می‌آید و تعداد کل میکروارگانیسم‌ها براساس تعداد پرگنه‌ها بر مبنای درجه رقت نمونه تعیین و محاسبه می‌شود. این آزمایش‌ها سه بار تکرار شده و تعداد میانگین باکتری‌ها از سه بار تکرار مشخص می‌شود.

۳-۳- جمع‌آوری کاه و کلش برنج و خیساندن توده

کاه و کلش برنج باقی‌مانده در مزرعه را به صورت دستی و یا مکانیزه جمع‌آوری نموده و سپس به کمک دستگاه خرمن‌کوب به قطعاتی در محدوده یک تا سه سانتی‌متری خرد تا تاثیر میکروارگانیسم‌ها در طول فرایند بر روی کاه و کلش بیشتر شده و همچنین فرآیند با سرعت بالاتری انجام شود (شکل۱۲). برای شروع فرآیند، ابتدا باید توده کاه و کلش به مدت ٤٨ ساعت به طور کامل خیسانده شود. برای این موضوع اگر استخر یا چاله مشخصی وجود داشته باشد، به راحتی می‌توان توده را به منظور تسریع فرایند خیساند (شکل ۱۳).

اگر هم این چاله یا استخر وجود نداشته باشد، می‌توان با آب‌پاشی به مدت دو روز، توده به طور کامل خیس شود. بعد از این مرحله، اختلاط سایر مواد صورت می‌گیرد. به منظور رطوبت‌دهی اولیه و رساندن آن به میزان ۷۰ درصد وزنی، به میزان تقریبا ۵۰۰ کیلوگرم کاه و کلش خشک پیش از ترکیب شدن با سایر افزودنی‌های منظور شده در هر تیمار، به مدت سه روز رطوبت دهی می‌شود. در طی فرایند نیز رطوبت به میزان ٦۰ درصد حفظ شده و هوادهی نیز به صورت چهار تا شش روز یک‌بار انجام می‌شود.

شکل ۱۲- جمع‌آوری و آماده‌سازی کلش برنج

نکته مهم:

خیساندن توده کاه و کلش به مدت دو روز (قبل از مخلوط‌سازی آن با سایر مواد افزودنی) دارای اهمیت فراوانی برای تسریع فرایند تولید کمپوست است. زیرا با این کار بافت بسیار سخت کاه و کلش نرم شده و موجب تسریع تجزیه کاه و کلش توسط میکروارگانیسم‌ها می‌شود. اما پس از مخلوط کردن مواد افزودنی و شروع فرایند تولید کمپوست، میزان رطوبت توده نباید از ۷۰ درصد بیشتر شود، زیرا منجربه کمبود اکسیژن شده و تخمیر بی‌هوازی ایجاد می‌کند که موجب تولید بوهای نامطبوع و تجزیه ناقص توده می‌شود. چنانچه توده کمپوست بسیار مرطوب شده و بوی نامطبوعی در آن تولید شده باشد، بایستی گام‌هایی را برای خشک نمودن آن برداشت.

شکل ۱۳- تهیه کاه و کلش برنج و خیساندن آنها

٤-۳- اضافه کردن مواد افزودنی به توده کاه و کلش خیسانده شده و پیاده‌سازی فرآیند تولید کمپوست

با توجه به اینکه فرآیند تولید کمپوست، کاملا یک فرآیند میکروبی است که در آن مجموعه‌ای عظیم از میکروارگانیسم‌های مختلف فعالیت دارند، برای داشتن یک فرآیند تولید کمپوست خوب نیاز به منابع غذایی کافی برای میکروارگانیسم‌ها هستیم. بطور کلی میکروارگانیسم‌ها برای فعالیت مناسب نیاز به منابع کربنی، منابع ازته و منابع نمکی دارند. در حالت عادی، نسبت کربن به ازت (C/N) در کلش برنج نزدیک ۱۰۰ است (درصد کربن آن خیلی بالا است ولی منابع ازتی اصلا در آن‌ها وجود ندارد) که برای تولید کمپوست اصلا مناسب نیست. لذا، برای پیاده‌سازی فرآیند مطلوب تولید کمپوست از این پسماندها، استفاده از ترکیبات مختلف با نسبت کربن به ازت بسیار کمتر همچون کود مرغی یا اوره به منظور کاهش نسبت کربن به ازت (C/N) ضروری است. مناسب‌ترین نسبت کربن به ازت برای شروع فرآیند کمپوست حدود ٤۰ است. لذا بسته به میزان دسترسی به سایر پسماندهای ارزان‌قیمت همچون کود مرغی یا کود اوره، باید تلاش کرد تا نسبت کربن به ازت توده اولیه را با استفاده از نسبت مناسب این ترکیبات به میزان رساند. پس از اضافه کردن کلیه ترکیبات به توده، کل توده را با بیل مکانیکی یا دستی بسته به حجم کار مخلوط کرده و سپس ریسه‌ها (ویندروها) با ارتفاع حدود ۱/۵ متر و عرض ۲/۵-۲ متر ساخته می‌شود. ترکیب پیشنهادی برای تولید کمپوست شامل ۸۰-۷۰ درصد وزن کاه و کلش برنج، ۳۰-۲۰ درصد کود مرغی یا دامی (می‌توان درصدی را هم از کود اوره استفاده نمود) و میکروارگانیسم‌ها (از هر کدام یک میلیون در گرم پسماند نهایی (۱۰٦ سلول باکتری در گرم پسماند نهایی) می‌باشد. بهتر است قبل از اضافه کردن میکروارگانیسم‌ها به توده، ابتدا در یک بشکه مقداری ملاس و لیکور ذرت و کود مرغی ریخته و فرمولاسیون سویه‌ها را به آن اضافه کنیم و به هم بزنیم و سپس بعد از ۲٤ ساعت ترکیب میکروبی را به توده اضافه کنیم و به هم بزنیم (شکل ۱٤).

نکته مهم:

در روش اشاره شده فوق، نسبت کربن به ازت در توده ترکیب شده اولیه حدود ٦۰ است که نسبت به حالت مطلوب (حدود ٤۰)، بیشتر است. دلیل انتخاب این نسبت‌ها، با توجه به عدم امکان دسترسی به میزان بالای کود مرغی و کود اوره بوده است، لذا در صورت دسترسی به میزان بالاتری از کود مرغی، می‌توان نسبت، کود مرغی را افزایش داد.

۵-۳- تنظیم رطوبت و هوادهی ریسه‌ها

پس از انجام مراحل فوق، لازم است فرآیند تولید کمپوست به مدت دو ماه مدیریت شود. میزان رطوبت توده باید همواره به میزان حدود ٦٠ درصد حفظ شود. بدین منظور لازم است میزان رطوبت توده در هر ریسه هر سه روز یک بار اندازه‌گیری شود. در صورتی‌که میزان رطوبت کمتر از ٦٠ درصد باشد، رطوبت‌دهی می‌تواند با شلنگ یا از طریق ترنر مجهز به آب‌پاش انجام شود. سیستم آب‌پاشی می‌تواند بر روی دستگاه ترنر نصب شود و در مرحله هوادهی، رطوبت‌دهی نیز انجام شود. در صورت استفاده از شلنگ، لازم است بعد از آب‌پاشی، کل ریسه با ترنر به هم زده شود تا رطوبت‌دهی یکنواخت باشد (شکل ١٤).

با توجه به این‌که میکروارگانیسم‌های فعال در فرآیند کمپوست از نوع هوازی هستند، وجود اکسیژن برای آنها امری ضروری است. با توجه به حجم بالای توده پسماند در طی فرایند، اکسیژن موجود در توده به سرعت مصرف می‌شود و فرآیندبه سمت بی‌هوازی پیش می‌رود که امری مضر است. به منظور انجام فعالیت هوازی میکروب‌ها و تقسیم مساوی رطوبت داده شده به توده‌ها، لازم است هوادهی و به هم زدن با دستگاه ترنر متصل به تراکتور و یا با کمک بیل به صورت دستی انجام شود (عرض ریسه‌ها با عرض ترنر در تناسب باشد). هوادهی به طور معمول هر سه یا چهار روز یک بار مناسب است که انجام شود. طول دوره به میزان ٦٠ روز در نظر گرفته می‌شود.

شکل ١٤- هوادهی تیمارها در سایت پایلوت از زمان آغاز تا تغییر رنگ توده

٦-۳- نحوه شناسایی یک کمپوست بالغ و با کیفیت

بطور کلی فرایند تولید کمپوست دارای سه مرحله است که شامل مرحله مزوفیل (فعالیت میکروارگانیسم‌های مزوفیل (فعال در دمای ٢٠ تا ٤٠ درجه سانتی‌گراد)، مرحله ترموفیل (فعالیت میکروارگانیسم‌های دمادوست (دمای بالای ٤٠ تا ٨٠ درجه سانتی‌گراد) و نهایتا مرحله بلوغ (فعالیت میکروارگانیسم‌های مزوفیل).

بعد از اینکه توده در حال کمپوست شدن فرایند ترموفیل (دمای ٤٠ تا ٨٠ درجه سانتی‌گراد) را طی کرد و دما پایین آمده و با دمای محیط تقریبا یکی شد، در صورتی‌که این دما برای چند روز ثبات داشته باشد، یکی از نشانگرهای بلوغ کمپوست است. در این مرحله باید رنگ کمپوست قهوه‌ای تیره به سمت سیاه باشد و توده بوی خاک جنگل و بوی تازه بدهد. اگر توده بوی مواد در حال فساد و تخمیر (بوی نامطبوع) داشته باشد، یعنی فرایند هنوز به اتمام نرسیده است. البته راهکارهای دیگر بررسی بلوغ کمپوست، مبتنی بر آنالیزهای فیزیکوشیمیایی از قبیل اندازه‌گیری نسبت کربن به ازت است که اگر نسبت به روز اول فرایند حدود ٥٠ درصد یا بیشتر کاهش نشان دهد، نشان از بلوغ کمپوست دارد.

٤- منابع

صالحی جوزانی غ‌ر، شرفی ر، قنواتی ح، کریمی ا و کوثری م (١٤٠٠) تولید بیوکمپوست غنی شده از پسماندهای برنج، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

صالحی جوزانی غ‌ر و کریمی ا (١٣٩٢) تولید بیوکمپوست از پسماندهای نیشکر، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

عبدلی مع، رساپور م و کمالی م (١٣٩٥) کمپوست اصول مهندسی و مباحث طراحی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم.

Adeleke KA, Atoloye IA, Creech JE, Dai X and Reeve JR (2021) Nutritive and nonnutritive effects of compos t on organic dryland wheat in Utah. Agronomy Journal.

Castiglione S, Oliva G, Vigliotta G, Novello G, Gamalero E, Lingua G, Cicatelli A and Guarino F (2021) Effects of compost amendment on glycophyte and halophyte crops grown on saline soils: Isolation and characterization of rhizobacteria with plant growth promoting features and high salt resistance. Applied Sciences, 11(5), 2125.

Chandel AK, da Silva SS, Carvalho W and Singh OV (2012) Sugarcane bagasse and leaves: Foreseeable biomass of biofuel and bio-products. In Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 87(1):11–20.

Gadde B, Bonnet S, Menke C and Garivait S (2009) Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. Environmental Pollution, 157(5):1554-1558.

Feng J, Wang B, Zhang D, Chu S, Zhi Y, Hayat K, Wang J, Chen X, Hui N and Zhou P (2021) Streptomyces griseorubens JSD-1 promotes rice straw composting efficiency in industrial-scale fermenter: Evaluation of change in physicochemical properties and microbial community. Bioresource Technology, 321:124465.

Liu L, Wang S, Guo X, Zhao T and Zhang B (2018) Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. Waste Management, 73: 101–112.

Nguyen H Van, Nguyen CD, Tran T Van, Hau HD, Nguyen NT and Gummert M (2016) Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the mekong river delta of vietnam. Field Crops Research, 198:16–22.

Pourmazaheri H, Jouzani GS, Karimi E, Nekouei SMK, Tabatabaei M and Amiri RM, (2015) Development of a bioprocess for fast production of enriched biocompost from municipal solid wastes. International Biodeterioration and Biodegradation, 104: 482-489.

Santos F, Machado G, Faria D, Lima J, Marçal N, Dutra E and Souza G (2017) Productive potential and quality of rice husk and straw for biorefineries. Biomass Conversion and Biorefinery, 7(1):117-126.

Shafie SM (2016) A review on paddy residue based power generation: Energy, environment and economic perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, pp.1089-1100.

Tiquia S and Tam Nf (1998) Spent pig litter in turned and forced aeration piles. Environmental Pollution. 8: 329-337

Taylor P, Erhart E and Burian K (2013) Compost Science and Utilization Evaluating Quality and Suppressiveness Of Austrian Biowaste Composts Evaluating Quality and Suppressiveness Of Austrian Biowaste Composts. 37–41.

Wu D, Wei Z, Qu F, Ahmed T, Zhu L, Zhao Y and Jia L (2020) Bioresource Technology Effect of Fenton pretreatment combined with bacteria inoculation o

۵- پیوست‌ها

٤-١- شاخص‌های فیزیکوشیمیایی و بهداشتی کمپوست (کیفیت کمپوست)

به منظور تعیین میزان کیفیت کمپوست تولیدی و یا ارزیابی فرآینددر طی دوره کمپوستینگ، می‌توان شاخص‌های مختلف تعیین کیفیت از قبیل شاخص‌های فیزیکوشیمیایی (شامل تغییرات دمایی، تغییرات pH، EC، میزان کربن، میزان ازت کل، نسبت کربن به ازت (C/N)، آمونیوم، نیترات، فسفر و پتاسیم) و همچنین شاخص‌های بهداشتی (میزان پاتوژن‌های گیاهی و انسانی موجود در کمپوست) در نمونه‌ها یا کمپوست نهایی را اندازه‌گیری کرد. روش‌های نمونه‌برداری از کمپوست و همچنین شاخص‌های فیزیکوشیمیایی و بهداشتی یک کمپوست مناسب در استانداردهای ملی کشور شامل شماره ۱۳۳۲۰ و ۱۳۳۲۱ ارائه شده است. شاخص‌های مهم در جداول ۱ تا ۳ آورده شده‌اند (عبدلی، ۱۳۹۵).

جدول ۱- استاندارد حدود قابل قبول آلاینده‌های میکروبی در کمپوست براساس استاندارد ملی ایران

ویژگی		حد قابل قبول
باکتری‌های شاخص در کمپوست درجه یک	کلی فرم مدفوعی	تعداد کمتر از $1*10^3$ MPN/g براساس وزن خشک
باکتری‌های شاخص در کمپوست درجه یک	سالمونلا	تعداد کمتر از ۳ MPN/۴g براساس وزن خشک
باکتری‌های شاخص در کمپوست درجه دو	کلی فرم مدفوعی	تعداد کمتر یا برابر $2*10^6$ MPN/g براساس وزن خشک

جدول ۲- حد مجاز فلزات سنگین در کمپوست بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم براساس استاندارد ملی ایران

ردیف	نام فلز	حد مجاز
۱	آرسنیک (As)	بیشینه ۱۰
۲	جیوه (Hg)	بیشینه ۵
۳	روی (Zn)	بیشینه ۱۳۰۰
٤	سرب (Pb)	بیشینه ۲۰۰
٥	کادمیوم (Cd)	بیشینه ۱۰
٦	کبالت (Co)	بیشینه ۲۵
۷	کروم (Cr)	بیشینه ۱۵۰
۸	مس (Cu)	بیشینه ٦۵۰
۹	مولیبدون (Mo)	بیشینه ۵
۱۰	نیکل (Ni)	بیشینه ۱۲۰

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کمپوست بر اساس استاندارد ملی ایران

ردیف	نوع ویژگی	حد قابل قبول برای رده (یک)	حد قابل قبول برای رده (دو)
۱	مواد آلی (براساس وزن ماده خشک)	کمینه ۳۵ درصد	کمینه ۲۵ درصد
۲	کربن آلی (براساس وزن ماده خشک)	کمینه ۲۵ درصد	کمینه ۱۵ درصد
۳	میزان ازت کل (براساس وزن ماده خشک)	۱/۶۶-۱/۲۵ درصد	۱/۵-۱/۰ درصد
٤	نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	۲۰-۱۵	۱۵-۱۰
۵	میزان فسفر برحسب P_2O_5 (براساس وزن ماده خشک)	۳/۸-۱ درصد	۳/۸-۰/۳ درصد
٦	میزان پتاسیم برحسب K_2O (براساس وزن ماده خشک)	۱/۸-۰/۵ درصد	۱/۸-۰/۵ درصد
۷	هدایت الکتریکی (در محلول ۱۰ درصد از ماده خشک)	بیشینه ds/m	بیشینه ۱٤ds/m
۸	pH (در محلول ۱۰ درصد از ماده خشک)	۸-٦	۸-٦
۹	رطوبت	بیشینه ۱۵ درصد	بیشینه ۳۵ درصد
۱۰	میزان خاکستر	بیشینه ۵۰ درصد	بیشینه ۵۰ درصد
۱۱	نسبت آمونیوم به نیترات	۰/۵ تا ۳	۰/۵ تا ۳
۱۲	نسبت جذب کاتیون سدیم	بیشینه ۱۰	بیشینه ۱۰
۱۳	ظرفیت تبادل کاتیونی	کمینه ۱۰۰meq/g	کمینه ۱۰۰meq/g
۱٤	دانسیته	٦۰۰-۳۵۰ Kg/m^3	٦۰۰-۳۵۰ Kg/m^3
۱۵	قطر ذرات	بیشینه ۸ میلیمتر	بیشینه ۲۰ میلیمتر
۱٦	مواد خارجی با قطر بیشتر از ٤ میلیمتر (براساس وزن ماده خشک)	بیشینه ٦ درصد	بیشینه ۱۲ درصد
۱۷	بذر علف های هرز	نداشته باشد	نداشته باشد
۱۸	شاخص جوانه زنی	کمینه ۷۰ درصد	کمینه ۷۰ درصد

٤-۲- روش‌های اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی

الف- تنظیم نسبت کربن به ازت مواد اولیه

با توجه اهمیت تنظیم نسبت کربن به ازت اولیه در فرایند تولید کمپوست و بالا بودن کربن کاه و کلش، این نسبت بر اساس فرمول زیر در تیمارهای مدنظر تنظیم شد. در این فرمول با جایگزینی مقادیر اولیه اندازه‌گیری شده از هر ماده مانند کربن، نیتروژن، و میزان رطوبت، مقدار حدودی نسبت کربن به ازت در مرحله آغازین تولید کمپوست محاسبه شد. در نهایت میزان هرکدام از افزودنی‌ها به نحوی انتخاب می‌شود که میزان نسبت کربن به ازت در تیمارها ٦۰ به دست آید. از کاه و کلش برنج بدون هیچ افزودنی به عنوان شاهد استفاده شود.

$$\frac{C}{N} = \frac{[(Ca\times وزن)(1- رطوبت)]+[(Cb\times وزن)(1- رطوبت)]+...}{[(Na\times وزن)(1- رطوبت)]+[(Nb\times وزن)(1- رطوبت)]+...}$$

Ca: مقدار کربن ماده اول

Cb: مقدار کربن ماده دوم

Na: مقدار نیتروژن ماده اول

Nb: مقدار نیتروژن ماده دوم

ب- اندازه‌گیری دما

اندازه‌گیری دما نیز به صورت روزانه از میانگین سه ناحیه توده در حال کمپوست شدن، با استفاده از ترمومتر دیجیتالی و در ساعت مشخص از روز انجام گرفت (شکل ۱۵).

شکل ۱۵- خوانش دمای توده در حال کمپوستینگ با استفاده از ترمومتر دیجیتالی

ج- اندازه‌گیری درصد رطوبت

جهت اندازه‌گیری درصد رطوبت ابتدا مقداری از نمونه را وزن کرده سپس نمونه‌ها را در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت قرار داده شد. پس از طی زمان مورد نظر نمونه‌ها را خارج و بعد از خنک شدن مجدداً وزن نموده و وزن ثانویه به دست می‌آید و در نهایت با استفاده از رابطه زیر درصد رطوبت محاسبه شد(Tiquia and Tam, 1998).

$$\text{M.C. (db)} = \frac{\text{وزن نمونه خشک شده} - \text{وزن نمونه خشک مرطوب}}{\text{وزن نمونه خشک شده}}$$

د- اندازه‌گیری درصد کربن، درصد خاکستر و مواد جامد فرار

برای اندازه‌گیری درصد کربن لازم است در ابتدا، درصد خاکستر مشخص شود برای این منظور ۱۰ گرم از کمپوست و اسید هیومیک خشک شده در بوته چینی که از قبل وزن شده قرار می‌دهیم. پس از سوزاندن نمونه‌ها در کوره در ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت با توجه به دو فرمول زیر درصد خاکستر و مواد جامد فرار محاسبه می‌شود (Tiquia and Tam, 1998).

$$\text{Ash} = \frac{\text{Msample, ash}}{\text{Msample, ts}} \cdot 100 \qquad \text{Vs} = \frac{\text{Msample, vs}}{\text{Msample, ts}} \cdot 100$$

msample,TS : وزن ماده خشک تولیدی بعد از ۲٤ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد

msample,VS : وزن ماده خشک تولیدی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد

msample,ash : وزن ماده خشک تولیدی در دمای ۸۱۵ درجه سانتی‌گراد

$$\text{درصد خاکستر} = \frac{\text{وزن نمونه خشک قبل از احتراق} - \text{وزن نمونه خشک بعد از احتراق}}{\text{وزن نمونه خشک قبل از احتراق}} \cdot 100$$

پس از محاسبه درصد خاکستر، با استفاده از رابطه زیر میزان درصد کربن محاسبه شد (Tiquia and Tam, 1998).

شکل ۱٦- سوزاندن کمپوست به منظور تولید خاکستر و اندازه‌گیری میزان کربن

ه- اندازه‌گیری ازت کل

برای اندازه‌گیری ازت کل از روش کجلدال استفاده شد (شکل ۱۷) (Tiquia and Tam, 1998)

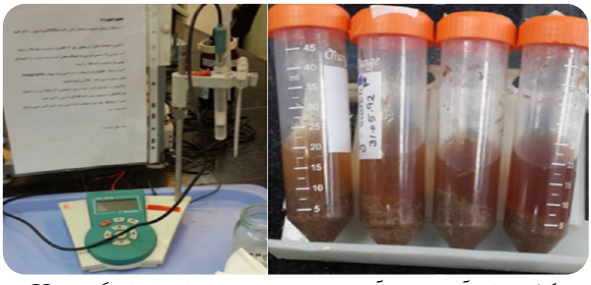
شکل ۱۷- دستگاه کجدال برای اندازه‌گیری نیتروژن

و- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)

برای اندازه‌گیری EC ابتدا مقداری از کمپوست را با نسبت یک به ۱۰ با آب مخلوط کرده و سپس با استفاده از دستگاه EC متر مقدار EC بر حسب ds/m تعیین شد(Liu *et al*., 2018).

ز- اندازه‌گیری (pH)

جهت اندازه‌گیری pH مقداری از کمپوست را با نسبت ۱ به ۱۰ با آب مخلوط کرده، پس از تکان دادن به مدت یک ساعت با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری صورت گرفت (شکل ۱۸) (Liu *et al*., 2018)(Taylor *et al*., 2013).



شکل ۱۸- آسیاب و آماده‌سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری pH

ح- اندازه‌گیری میزان فسفر

برای اندازه‌گیری میزان فسفر از روش هضم در اسیدهای قوی و آنالیز با دستگاه اسپکتروفومتر در طول موج ٤٧٠نانومتر انجام می‌شود.

ط- اندازه‌گیری میزان پتاسیم

برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم بعداز آماده سازی و هضم در اسیدهای قوی و آنالیز با دستگاه فلیم فتومتر انجام می‌شود.

ی- اندازه‌گیری میزان غلظت آمونیوم

غلظت آمونیوم با استفاده از دستگاه اسپکتروفومتر در جذب ٦٥٠ نانومتر به روش باتگن و الی اندازه گیری می‌شود (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۵).

کلیه اندازه‌گیری‌ها حداقل با سه بار تکرار انجام می‌شود.