

# تولید کود آلی از مخلوط پوسته برنج و ضایعات چوب به روش کمپوست کردن میکروبی هوازی با استفاده از قارچ های نان کپک زده و آب پنیر

کامل یعقوبی<sup>۱</sup>، رسول خلیلزاده<sup>۲\*</sup>، علی بهرامی<sup>۳</sup>، آسیه آراموش<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
- ۲- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
- ۳- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
- ۴- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

\* صندوق پستی ۱۵۸۷۵-۱۷۷۴، شهر تهران، ایران  
rkhalilzadeh@mut.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

## چکیده

هر ساله بیش از ۶۰۰ هزار تن پوسته برنج در کارخانه های شالیکوبی در کشور تولید می شود، که بدون استفاده مناسب در طبیعت رها شده و یا سوزانده می شود. با روش های زیست فناوری امکان تبدیل این ضایعات به کمپوست با نیتروژن و مواد معدنی بالا وجود دارد. تسریع در تولید کود آلی با کیفیت بالا و کاهش زمان فرایند، نیازمند مطالعه و تعیین عوامل موثر بر فرایند کمپوست کردن می باشد. در این پژوهش، ضایعات پوسیده چوب در حضور آب پنیر و پودر نان کپک زده به عنوان مایه تلقیح استفاده شد و فرایند برای مدت ۱۰۰ روز مطالعه شد. نتایج نشان داد که کمپوست کردن پوسته برنج، موجب کاهش نسبت کربن به نیتروژن از ۱۶۱/۲ به ۲۳/۸ (۸۵/۲ درصد کاهش) و همچنین افزایش محتوای نیتروژن از ۰/۲۸ به ۱/۵۴ در صد (۴/۵ برابر افزایش) شد. مطالعه تغییرات دما طی فرایند مشخص کرد که تخریب زیستی پوسته برنج به اضافه مواد افزودنی مورد اشاره، در ابتدا با افزایش جمعیت ریزاندامگان و فعالیت آنها، موجب افزایش دما به  $37 \pm 2$  درجه سانتی گراد شد و با ادامه فرایند با کاهش فعالیت، دما نیز به تدریج کاهش یافت تا به دمای محیط یعنی  $25 \pm 2$  درجه سانتی گراد رسید. از سویی دیگر، نتایج نشان داد که افزودن کود حاصل از پسماندهای درختی با افزایش موادغیرآلی از ۲۷/۸ به ۳۱/۴۶ درصد و کاهش کربن آلی از ۳۶/۷ به ۳۵/۴ درصد و کاهش شاخص C:N از ۲۳/۸ به ۲۱/۸، به طور نسبی موجب بهبود کیفیت کودپوسته برنج شده و نیز بر اصلاح رنگ ظاهری محصول نیز موثر است. نتایج ارزیابی اثر کمپوست تولیدی بر رشد گیاه نشان داد که افزودن ۵ درصد وزنی کمپوست پوسته برنج به خاک ماسه

ای، تاثیر قابل توجهی بر افزایش بلندی بوته نسبت به شاهد در زمان مقایسه ( $10 \pm 75$  درصد افزایش) و وزن بوته ( $2 \pm 79$  درصد افزایش وزن تر و  $90 \pm 2$  درصد افزایش وزن خشک) لوبیای چشم بلبلی دارد.

**کلید واژگان:** کود آلی، ضایعات لیگنوسلولزی، تخریب زیستی، ریزاندامگان، نسبت C/N.

## ۱- مقدمه

امروزه به دنبال رشد فزاینده جمعیت و تشدید نیاز بشر به مواد اولیه، لزوم استفاده مطلوب و بهینه از منابع موجود را دوچندان می‌کند. از جمله مهمترین مواد مورد نیاز بشر، محصولات کشاورزی و غذایی است [۲۱]. از نظر حجم تولید بعد از گندم برنج دومین محصول کشاورزی جهان بوده و این محصول، غذای اصلی بیش از نیمی از مردم دنیا را تامین می‌کند [۳]. براساس آمار سال ۲۰۱۶ سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فاو)، کشور ایران با تولید ۲ میلیون و ۴۰۰ هزار تن برنج در سال، رتبه ۲۶م را در تولید جهانی برنج به خود اختصاص داده است [۵]. در برداشت محصول برنج، بین ۲۵ تا ۳۷ درصد شلتوک تولیدی، محصولات فرعی لیگنوسلولزی تولید می‌شود و حدود ۲۲ درصد آن پوسته برنج است [۶]. بنابراین، تولید سالانه پوسته برنج در ایران بیش از ۶۰۰ هزار تن خواهد بود که این حجم از ماده لیگنوسلولزی به خودی خود چندان قابل استفاده نبوده و عمدتاً بدون استفاده مناسب در محیط زیست رها شده و یا سوزانده می‌شود. بنابراین، ضرورت دارد برای بهره برداری و استفاده از این حجم ماده لیگنوسلولزی با ویژگیهای مفید که یک محصول جانبی کشاورزی پرمقدار است، پژوهش و راهکار عملی جستجو و ارائه شود.

ساختار و ترکیبات لیگنوسلولزی بخش اصلی زیست توده گیاهان است و قسمت عمده کل مواد گیاهی تولید شده توسط فتوسنتز را شامل می‌شود [۷ و ۸]. این ترکیبات لیگنوسلولزی که فراوانترین منبع آلی تجدیدپذیر در زمین

هستند، از سه پلیمر سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند که توسط پیوندهای متقاطع کووالانسی و نیروهای غیرکووالانسی به شدت در هم آمیخته و به هم متصل شده‌اند [۸]. ترکیبات لیگنوسلولزی بخش عمده‌ای از فراوردهای فرعی کشاورزی را نیز به خود اختصاص می‌دهند، اما فقط مقدار کمی از آنها به عنوان محصول جانبی در کشاورزی یا جنگل‌داری استفاده می‌شود و مابقی به ضایعات رها می‌شود [۹].

بسیاری از ریزاندامگان (هر چند به کندی) قادر به تجزیه و استفاده از سلولز و همی سلولز به عنوان منابع کربن و انرژی هستند. با این حال، گروه بسیار کوچکی از قارچهای رشته‌ای با توانایی تجزیه لیگنین، مقاومترین جز دیواره‌های سلولی گیاهان تکامل یافته را تجزیه و تخریب می‌کنند. این قارچ‌ها به عنوان قارچ‌های پوساننده سفید شناخته می‌شوند، که دارای توانایی منحصر به فردی در تجزیه موثر لیگنین به  $H_2O$  و  $CO_2$  هستند. قارچ‌های پوساننده نرم گروه دیگری از قارچ‌های مطرح در تجزیه مواد لیگنوسلولزی هستند که هم سلولز و هم لیگنین را تخریب می‌کنند [۱۰]. از دیگر قارچ‌های تجزیه کننده لیگنوسلولزها، قارچ‌های پوساننده قهوه‌ای هستند که به سرعت ساختار پلیمری سلولز را تخریب می‌کنند، در حالی که، لیگنین را تنها اندکی تغییر می‌دهند [۱۰].

میکروارگانیزم‌ها از جمله باکتری‌ها و قارچ‌های مورد اشاره نقش تجزیه و تبدیل مواد آلی و برگشت آنها به چرخه کربن در طبیعت را بر عهده دارند. بنابراین، از ظرفیت و توان آنها می‌توان برای بهره برداری از مواد لیگنوسلولزی چون پوسته برنج در برای تولید محصول

کود آلی (کمپوست) میکروبی و زیستی استفاده کرد و از هدر رفت آنها جلوگیری کرد.

عوامل مختلفی از جمله مجموع فعالیت های آنزیمی و بیولوژیکی میکروارگانیسم ها، دما، درصد رطوبت مواد و نسبت کربن به نیتروژن، برای رصد فرایند کمپوست شدن و تولید کود آلی استفاده می شوند [۱۱]. در این راستا، در طی کمپوست شدن مقدار مواد آلی و در نتیجه میزان کربن آلی به دلیل تبدیل و تولید  $CO_2$  در طی تجزیه مواد آلی کاهش می یابد. در حالی که به دلیل آزاد شدن نیتروژن به صورت  $NH_4^+$  و  $NO_3^-$  و عمل شوره گذاری ( نیتریفیکاسیون) میزان نیتروژن در محیط کمپوست شدن، افزایش می یابد. با کاهش کربن آلی و افزایش نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن (C:N) در طی فرایند کاهش می یابد. بنابراین، نسبت C:N اغلب به عنوان شاخص بلوغ کمپوست بوده و در بسیاری موارد، نسبت C:N کمتر از ۲۶ نشان دهنده بلوغ قابل قبول کمپوست است [۱۲ و ۱۳].

ذرت، گندم و برنج از عمده محصولات کشاورزی هستند که در جهان تولید می شوند و به هنگام برداشت هر کدام از این محصولات حجم قابل توجهی از محصولات فرعی کشاورزی به عنوان ضایعات تولید می شوند. از جمله در عملیات برداشت و فراوری دانه برنج، مقدار فراوانی از محصولات فرعی چون کاه و پوسته برنج نیز تولید می شوند که چندان قابل استفاده نیستند و عمدتاً در محیط زیست رها می شوند. در این میان، سالانه بیش از ۶۰۰ هزار تن فقط پوسته بیرونی برنج در کشور تولید می شود، که بیش از ۲۶۰ هزار تن آن فقط مربوط به استان گیلان است [۵]. اگرچه مکانیزاسیون کشاورزی هدر رفت های ناشی از خرد شدن دانه برنج و فرار دانه برنج همراه ضایعات محصولات کشاورزی و برنج را کاهش می دهد، اما به دلیل ثابت بودن حجم پوسته بیرونی برنج، پیشرفت های فنی قطعاً بر مقدار پوسته برنج تولیدی چندان تاثیری ندارد. پوسته برنج خشک شده دارای تراکم توده ای پایین

و رطوبت کم می باشد. این ماده، شامل ۷۵ تا ۸۲ درصد مواد آلی (سلولز، همی سلولز و لیگنین) و ۱۸ تا ۲۵ درصد مواد معدنی می باشد. لازم به ذکر است که بیش از ۹۵ درصد مواد معدنی را سیلیس و ترکیبات سیلیسی و کمتر از ۵ درصد باقیمانده را اکسیدهای کلسیم، منیزیم، آهن، پتاسیم، سدیم، روی و مس و... تشکیل می دهند [۱۴ و ۱۵]. از جمله روش های موثر در مدیریت پسماندهای جامد کشاورزی و محصولات فرعی همچون پوسته برنج، تبدیل آنها به کمپوست و کود آلی است. تولید کمپوست، فرایندی هوازی است که در آن انواع میکروارگانیسم ها، خصوصاً قارچ ها، کلیدی ترین نقش را در پیشبرد و سرعت بخشیدن به تخریب ترکیبات آلی بر عهده دارند [۱۰]. کمپوست امکان مدیریت و کنترل نیتروژن مورد نیاز گیاه در خاک را نیز به کمک ضایعات کشاورزی ممکن می سازد. همچنین، استفاده از پسماندهای کشاورزی کمپوست شده برای پرورش و رشد گیاهانی چون برنج، آفتابگردان و غیره مطالعه شده است و نتایج حاکی از بهبود قابل توجهی در متغیرهای فیزیکی و بیوشیمیایی گیاه بوده است [۱۶].

هدف از پژوهش حاضر امکان سنجی تولید کمپوست پوسته برنج با به کارگیری ریزاندامگان موجود در محیط پوسته برنج پوسیده و نیز در نان کپک زده و همچنین استفاده از آب پنیر و ضایعات چوبی پوسیده، برای تحریک ریزاندامگان، بهبود کیفیت کود آلی (کمپوست) و بررسی کمپوست حاصل از منظر عوامل مهم عملیاتی همچون C:N است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- مواد اولیه و ریزاندامگان

حدود ۳۰ کیلوگرم پوسته برنج (عمدتاً رقم هاشمی) از یک کارخانه شالیکوبی در فومن گیلان تهیه شد. آب پنیر بدون نمک به عنوان منبع ارزان مواد مغذی برای رشد ریزاندامگان نیز از "کارخانه لبنیاتی تنها" در شهرستان

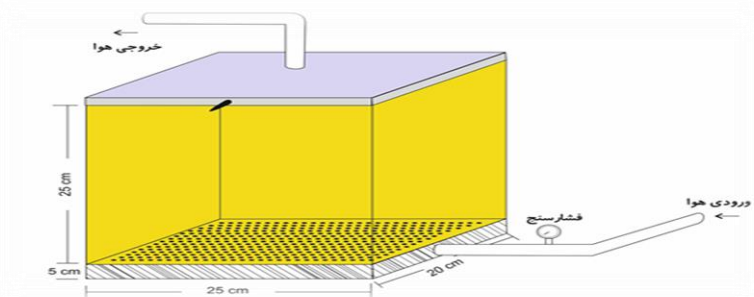
### ۲-۳- روند آزمایش‌ها

در ابتدا پوسته برنج در آون الکتریکی و در دمای  $3 \pm 105$  درجه سلسیوس خشک شد و درصد رطوبت و سپس جرم حجمی و تا حد امکان ترکیبات تشکیل دهنده آن اندازه‌گیری شد. در ادامه، ۵ درصد مایه تلقیح، متشکل از سوسپانسیون پودر نان کپک زده (w/v) ۵ درصد برحسب مواد جامد نسبت به پوسته برنج، آب پنیتر (v/w) ۵ درصد و معادل (w/w) ۲ درصد ضایعات چوب درحال پوسیدن، به  $1800$  گرم پوسته برنج افزوده شد. پس از اختلاط کامل مایه تلقیح با پوسته برنج، با افزودن آب مقطر میزان رطوبت مواد تیمار شونده در بیوراکتور در حدود  $5 \pm 65$  درصد تنظیم شد و محتویات ظرف آزمایش در محیط آزمایشگاه قرار داده شد تا فرایند تخمیر و کمپوست شدن انجام گیرد. این فرایند برای مدت ۸۰ روز ادامه یافت. در طی دوره تیمار، پس از گذشت هر ۲۰ روز از مواد کمپوست شونده نمونه برداری انجام و مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. پس از ۸۰ روز به جهت بهبود رنگ ظاهری معادل ۱۰ درصد وزنی مواد جامد کمپوست شونده، به مواد تیمار شده، کود چوبی رسیده، افزوده و مخلوط شد و فرایند کمپوست شدن برای ۲۰ روز دیگر ادامه یافت.

فومن دریافت شد. این ماده دارای میزان تقریبی ۹۵ درصد آب با pH حدود ۷ و دارای حدود ۵ درصد مواد پروتئینی، چربی و بعضی عناصر معدنی مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها است. در این پژوهش، ریزاندامگان موجود در فرایند طبیعی کمپوست شدن (پوسیدن) ضایعات چوب و پوسته برنج و همچنین نان کپک زده به‌عنوان منبع عوامل میکروارگانیسم‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، برای بررسی سمیت کمپوست تولیدی و اثر آن بر رشد گیاه، لوبیای چشم بلبلی استفاده شد. بررسی‌ها نشان داده است که جوانه‌زنی و رشد این گیاه بر اثر شوری خاک و آلودگی‌های نفتی تحت تاثیر قرار گرفته [۱۷ و ۱۸] و بنابراین این احتمال وجود دارد که جوانه‌زنی و رشد آن تحت تاثیر کیفیت کمپوست و کود آلی پوسته برنج نیز قرار گیرد.

### ۲-۲- بیوراکتور آزمایشگاهی

در این پژوهش برای انجام تیمار زیستی ترکیبات کمپوست شونده، از دو مخزن به شکل مکعب مستطیل و از جنس پلی اتیلن نیمه شفاف (کمی مات)، به ابعاد تقریبی  $20 \times 25 \times 30$  سانتی‌متر استفاده شد. همچنین، با هدف تامین یکنواخت هوای ورودی مورد نیاز برای فرایند، صفحه مشبک با منافذی به قطر ۲ میلی‌متر، در فاصله ۵ سانتی متری از کف مخزن تعبیه شد تا خط ورودی هوا در زیر آن قرار گیرد (تصویر ۱).



تصویر ۱ بیوراکتور آزمایشگاهی برای خواباندن پوسته برنج و انجام فرایند تبدیل میکروبی آن به کود آلی (کمپوست)

## ۲-۴- تاثیر کمپوست بر رشد و عملکرد گیاه

با هدف مطالعه اثر کمپوست تولیدی از پوسته برنج بر رشد گیاه، به جهت رشد مناسب در دمای ۲۵-۳۰ درجه سلسیوس هوای تابستان و سرعت رشد نسبتا بالا، برای نمونه کشت بذر از خانواده بقولات، نوع معمول گیاه لوبیا چشم بلبلی<sup>۱</sup>، جنس ویگنا سیننسیس<sup>۲</sup> در خاک ماسه ای با ۹۹ درصد مواد سیلیسی (و غیر آلی) و حدود ۱ درصد مواد آلی، باضافه ۵ درصد (w/w) از کمپوست حاصل بررسی شد.

در این راستا، رشد گیاه و وزن آن در بازه‌های زمانی ۷ روزه بعد از کشت، در مقایسه با کشت‌های شاهد (کشت در خاک ماسه‌ای بدون کمپوست)، مورد مطالعه قرار گرفت. برای نتیجه گیری هر کدام از کشت‌ها با ۳ تکرار (۳ گلدان و در هر گلدان ۱۰ عدد بذر) انجام شد. رشد گیاه از منظر افزایش طول بوته و وزن زیست جرم تر و خشک نسبت به زمان بررسی شد. در این جهت، پس از ۲۱ روز تعداد یک‌سان (۳ عدد) از گیاه حاصل از هر کدام از گلدان‌ها را در یک سطل آب غوطه‌ور کرده و به آرامی تکان داده شد، تا تمام ذرات خاک چسبیده حذف شوند و طول ساقه و ریشه آنها با استفاده از مقیاس متریک و با استفاده از یک خط کش با حساسیت میلی‌متر، اندازه‌گیری شد. وزن تر و وزن خشک بوته‌ها نیز با یک ترازوی دیجیتال با حساسیت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

## ۲-۵- نمونه برداری‌ها و تجزیه و تحلیل فیزیکوشیمیایی

در این پژوهش، هر ۲۰ روز پس از آغاز تیمار زیستی تا ۱۰۰ روز پایانی، نمونه برداری‌ها انجام شد. در این راستا، ترکیبات درون بیوراکتور از منظر میزان محتوی کربن آلی، مواد معدنی، pH، دما و نسبت C:N مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میزان رطوبت با استفاده از روش وزن سنجی تعیین شد. در این راستا، میزان ۵ گرم کمپوست به مدت

۲۰ ساعت در دمای ۱۰۵±۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون الکتریکی خشک شد. سپس، نمونه‌ها قبل از توزین نهایی در دمای اتاق و در دسیکاتورخنک شدند. با خشک شدن، میزان رطوبت کمپوست بر مبنای درصد محاسبه شد. در طی زمان کمپوست شدن، دمای مواد کمپوست شونده در بیوراکتورها نیز هر دو روز با دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری pH، مخلوط‌های ۱۰ درصد (w/v) از نمونه‌های کمپوست پوسته برنج در آب مقطر و براساس روش سندبرگ و همکاران (۲۰۰۸) تهیه شد و pH آنها با استفاده از pH متر دیجیتال مدل HATCH اندازه‌گیری شد [۱۹].

مواد آلی با کاهش وزن به روش احتراق خشک و نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال<sup>۳</sup> اندازه‌گیری شدند [۲۰]. اندازه‌گیری کربن آلی کل (TOC)<sup>۴</sup> با روش ولکلی-بلاک<sup>۵</sup> انجام شد. اساس این روش بر هضم مرطوب کربن آلی در محلول K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> و در حضور H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> غلیظ و تیتراسیون دی کرومات باقیمانده با فرسولفات، استوار است [۲۱]. محتویات عناصر معدنی به ترتیب، فسفر و آهن به روش اسپکتوفتومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر Hatch مدل DR2000 و با روش استاندارد ISO11466، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA روش استاندارد ISIRI8652 اندازه‌گیری شدند [۲۲]. پتاسیم نیز به روش اسپکتروسکوپی جذب اتمی شعله<sup>۶</sup> (Flame AAS) اندازه‌گیری شد.

## ۲-۶- آنالیز آماری

در پژوهش حاضر از نرم‌افزار مینی تب ۲۰۱۶ برای بررسی آماری داده‌ها استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون t-test مقایسه شدند. با توجه به اینکه این مقاله تنها به بخشی از کل پژوهش و امکان تولید کود آلی (کمپوست)

<sup>4</sup>total organic carbon

<sup>5</sup> Walkley-Black

<sup>6</sup> Flame atomic absorption spectroscopy

<sup>1</sup> Cowpeas

<sup>2</sup> Vigna Sinensis

<sup>3</sup> Kjeldahl

با درصد وزنی (۱۸/۱ درصد)، بیشترین مقدار درصد مواد معدنی را به خود اختصاص داده است.

### ۲-۳- تولید کمپوست

#### ۱-۲-۳- تغییرات دمای داخل مواد کمپوست شونده

نمودار ۱ روند کل تغییرات دمای داخل مواد کمپوست شونده نسبت به زمان را در طی فرایند کمپوست شدن پوسته برنج، در طی مدت ۱۰۰ روز به تصویر می کشد. مطابق این نمودار، دمای داخل مواد کمپوست شونده با افزایش فعالیت میکروارگانیسم ها و در طی مدت زمان اندازه گیری ۱۰۰ روز، ابتدا از  $25 \pm 2$  درجه سلسیوس (دمای محیط) تا به  $37 \pm 2$  درجه افزایش یافت و سپس با کاهش فعالیت میکروارگانیسم ها در پایان فرایند در محدوده  $25 \pm 2$  سلسیوس باقی ماند (دمای محیط آزمایشگاه  $25 \pm 2$  درجه سلسیوس بود).

از پوسته برنج و نتایج حاصله توجه دارد، تنها به ذکر مقایسه میانگین داده ها اکتفا شده و طراحی کلی آزمایش ها و متغیرهای مهم تاثیر گذار و اثرات آنها و همچنین آنالیز واریانس داده ها در اینجا مورد بحث قرار نگرفته است.

### ۳- نتایج

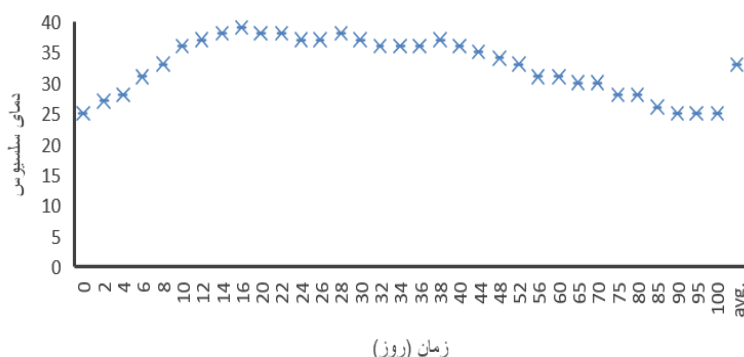
#### ۱-۳- ویژگی های پوسته برنج

در جدول ۱ ویژگی های فیزیکی شیمیایی پوسته برنج مورد استفاده در این پژوهش قید شده است. مطابق نتایج مندرج در این جدول، میزان رطوبت و وزن حجمی ظاهری پوسته برنج تیمار نشده به ترتیب برابر با  $6/5$  درصد و  $gcm^{-3}$   $0/126$  می باشد. همچنین، مواد آلی آن  $81/27$  درصد از وزن خشک پوسته برنج و مواد غیر آلی آن نیز  $18/83$  درصد از وزن خشک پوسته برنج را تشکیل می دهد.  $SiO_2$

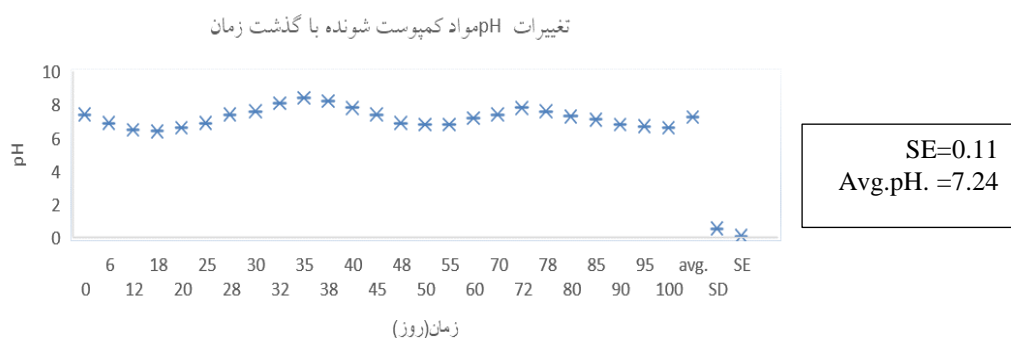
جدول ۱ خواص فیزیکی و شیمیایی پوسته برنج (میزان ترکیبات تشکیل دهنده بر مبنای درصد وزن خشک)

وزن حجمی ظاهری ( $g\ cm^{-3}$ )	رطوبت %	مواد جامد %	مواد آلی %	کربن آلی %	$N_t$ %	C:N	$SiO_2$ %	$PO_4^{3-}$ %	$Mg^{2+}$ %	$Ca^{+2}$ %	$K^+$ %	$Fe^{+2}$ %
0/126	6/5	93/5	81/27	45/15	0/28	161/2	18/1	0/11	0/04	0/037	0/23	0/04

تغییرات دمای مواد کمپوست شونده با گذشت زمان



نمودار ۱ تغییرات دمای محیط داخل مواد کمپوست شونده (پوسته برنج و افزودنی ها) با گذشت زمان.



نمودار ۲ تغییرات pH سوسپانسیون ۱۰ درصد (W/V) مواد کمپوست شونده (پوسته برنج و مواد افزودنی) با گذشت زمان

### ۲-۳-۲ تغییرات pH

نمودار ۲ تغییرات pH داخل مواد کمپوست شونده را در طی فرایند کمپوست شدن پوسته برنج به تصویر می کشد. در این راستا، میزان ابتدایی pH محتویات مواد کمپوست شونده برابر ۷/۴ ثبت شد که این عدد در روز ۱۲ ام تا ۶/۵ کاهش یافت. در ادامه، مقدار pH افزایش یافت و به عدد ۸/۵ در روز ۳۲ ام رسید. این نوسانات pH در ادامه فرایند مشاهده شد و در نهایت اندازه آن، به آرامی کاهش یافت و در روز ۱۰۰ ام به عدد ۶/۶ رسید.

### ۳-۲-۳ تغییرات ترکیبات آلی و معدنی کمپوست

جدول ۲ تغییرات ترکیبات آلی و معدنی پوسته برنج در طی فرایند کمپوست شدن را در طی ۱۰۰ روز نشان می دهد. در این راستا، عدد نسبت کربن به نیتروژن (C:N)، از مهمترین شاخص هایی است که می تواند کیفیت کمپوست را تعیین کند. برای مقایسه در اینجا نتایج مربوط به نمونه اولیه (پوسته برنج تبدیل نشده) به عنوان شاهد فرض شده است و نتایج حاصل از محصول در حین فرایند و نیز نتایج آزمایش های محصول نهایی با شاهد مورد مقایسه قرار گرفته است. مطابق با جدول ۲، از نسبت ابتدایی کربن به نیتروژن (C:N)، ۱۶۱/۲، با گذشت زمان به صورت پیوسته کاسته شد و در نهایت در روز ۱۰۰ ام به عدد ۲۳/۸ رسید، که این امر حاکی از بلوغ محصول کمپوست

حاصله می باشد. لازم به ذکر است که مقدار نیتروژن مواد در زمان تبدیل از ۰/۲۸ در روز اول به ۱/۵۶ درصد تا روز ۸۰ مرتب روند افزایشی داشته ولی در نهایت با اندکی کاهش (۱/۵۴) روبرو شد که این کاهش احتمالاً به جهت فرار مقداری نیتروژن به صورت  $N_2$  از محیط فرایند حادث شده است.

در این پژوهش کاهش نسبی مواد آلی از ۸۱/۲۷ به ۷۲/۲۰ (کاهش حدود ۱۱/۲ درصد) اتفاق افتاد و این پدیده با افزایش نسبی میزان مواد غیر آلی از ۱۸/۷۳ به ۲۷/۸۰ (افزایش حدود ۴۸/۴ درصد) همراه شد. اما میزان  $Mg^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  در طی مدت زمان ۱۰۰ روز با افزایش همراه بود. در این راستا، میزان  $Mg^{2+}$  از ۰/۰۴ به ۰/۴ (۱۰ برابر) افزایش) و میزان  $Fe^{2+}$  از ۰/۰۴ به ۰/۲۸ (۷ برابر) افزایش یافت. از سویی، در طی فرایند محتوای  $PO_4^{3-}$  به صورت پیوسته افزایش یافت. بنابراین، مقدار آن از میزان ابتدایی ۰/۱۱ در شاهد به مقدار نهایی ۲/۹ (۲۶ برابر) در انتهای فرایند رسید. البته لازم به ذکر است که مقدار گزارش شده مربوط به محتوای فسفر قابل اندازه گیری است که در اثر مصرف و تبدیل آن توسط ریزاندامگان به شکل فسفات محلول در آمده است. این روند تغییر متغیرهای مواد کمپوست شونده نسبت به نمونه اولیه (شاهد) در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ نتایج تجزیه مواد (مخلوط پوسته برنج به اضافه ضایعات چوبی و افزودنی سوسپانسیون آب پنیر و پودر نان کپک زده) در دوره‌های زمان کمپوست شدن در طی ۱۰۰ روز (نسبت به وزن خشک)

نمونه اولیه (شاهد)	مدت زمان پس از تلقیح مواد کمپوست شونده								
	ت-test	۲۰روز	۴۰روز	۶۰روز	۸۰روز	۱۰۰روز	t-test		
متغیر	زمان								
مواد غیر آلی	۱۸/±۸۳	۰/۲۱۵	۲/۶*	۲۰/۳۵	۲۱/۵۵	۲۳/۳	۲۵/۲	۲۷/۰,۱۰۵±۸	۲/۳۸*
مواد آلی	۸۱/±۲۷	۰/۲۲	۲/۶*	۷۹/۶۵	۷۸/۱	۷۶/۷	۷۴/۸	۷۲/۰,۱۰۵±۲	۲/۳۸*
کربن آلی	۴۵/±۱۵	۰/۲۹۷	۷/۶*	۴۳/۲	۴۱/۶	۴۰/۲	۳۸/۳	۳۶/۰,۲۳۳±۷	۲/۱۴*
Ca <sup>+</sup> /۲	۰/±۰۳۷	۰/۰۰۲	۱/۷۶*	۰/۱	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۰,۰۱۴±۷۹	۱/۴۳*
Mg <sup>۲+</sup> /۲	۰/±۰۴	۰/۰۰۱	۰/۶۲ns	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۳	۰/۳۵	۰/۰,۰۰۹±۴	۰/۸۶ns
Fe <sup>+</sup> /۲	۰/±۰۴	۰/۰۰۱۵	۱/۳*	۰/۰۷۵	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰,۰۱۵±۲۸	۰/۸ns
PO <sub>4</sub> <sup>۳-</sup> /۲	۰/±۱۱	۰/۰۰۷	۰/۷۵ns	۰/۴۸	۱/۳۳	۱/۶۸	۲/۳	۲/۰,۰۸۹±۹	۰/۹۵ns
K <sup>+</sup> /۲	۰/±۲۳	۰/۰۰۶	۱/۲۷*	۰/۵۴	۰/۸۸	۰/۹۱	۱/۲۳	۱/۰,۰۱۹۸±۴۸	۱/۵۱*
N <sub>i</sub> /۲	۰/±۲۸	۰/۰۱	۲/۱۹*	۰/۸۷	۱/۳	۱/۴	۱/۵۶	۱/۰,۲۲۳±۵۴	۱/۵۸*
C/N	۱۶۱/±۲	۷/۵	۱/۱۲*	۵۵/۴	۳۲/۰	۲۸/۷	۲۴/۵	۲۳/۰,۳۹۹۸±۸	۳/۸۵*

\* تفاوت معنی‌داری بین نتیجه آزمایش (میانگین متغیرها) در مقایسه با شاهد مشاهده شده است.

Ns تفاوت فاحشی بین نتیجه آزمایش‌ها وجود ندارد.

برای مدت ۱۰ روز دیگر ادامه یافت. در این راستا، افزودن کود درختی موجب بهبود رنگ ظاهری کود (تیره شدن) و حتی کیفیت کلی محصول نهایی شد. در این رابطه به ۱۳/۲ درصد افزایش مواد غیر آلی، کاهش ۵/۱ درصد مواد آلی و ۳/۵۴ درصد کربن آلی، کاهش ۱۵ درصد کلسیم و افزایش ۵۵ درصد منیزیم، ۱۰/۶۹ درصد فسفات، ۷۶/۵ درصد پتاسیم و ۵/۲ درصد نیتروژن می‌توان اشاره کرد. به این ترتیب برای کاهش کربن آلی و افزایش نیتروژن، نسبت C/N نیز ۸/۴ درصد کاهش یافته است. همه این نتایج نشان دهنده بهبود کیفیت کود آلی پوسته برنج با افزودن کود درختی رسیده می‌باشد. به نظر می‌رسد پیوستگی ساختار بافت کود درختی به حفظ مواد و از جمله فسفات، نیتروژن و پتاسیم کمک کرده است (جدول ۴).

برای ارزیابی‌های آماری نتایج تغییرات مواد کمپوست شونده، نتایج آنالیز نمونه پایانی کمپوست مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج محاسبات مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج بیانگر اختلاف اندک داده‌های مربوط به آزمایش‌ها و اندازه‌گیری هر نمونه و اطمینان بالای نتایج ( $p < 0.05$ ) می‌باشد.

#### ۴-۲-۳- اصلاح کمپوست با افزودن کود پوست درخت

علیرغم اینکه نتایج نسبتاً قابل قبولی در دوره ۱۰۰ روزه به دست آمد، رنگ محصول کمپوست پوسته برنج هنوز به رنگ زرد نسبتاً روشن بود. بنابراین به جهت اصلاح رنگ و کیفیت ظاهری کود حاصل از پوسته برنج، میزان ۱۰ درصد وزنی محصول کود درختی (کمپوست حاصل از پوست و ریزه‌های چوبی) به محصول نهایی افزوده شد و فرایند کمپوست شدن تنها برای هموزن و یکنواخت شدن



جدول ۴ نتایج تجزیه و تحلیل محصول کمپوست حاصل از اختلاط پوسته برنج با ۱۰ درصد کود درختی (نسبت به وزن خشک)

نتایج متغیر	شاهد	کمپوست ۱	کمپوست ۲	t-test1*	**t-test2
مواد غیر آلی %	۱۸/۸ ± ۰/۲۱۵	۲۷/۰,۱۰۵±۸	31/46±۰,۰۹	۶۰	۱۴۰/۶۷
مواد آلی %	۸۱/۲۵ ± ۰/۲۲	۷۲/۰,۱۰۵±۲	6۸/54±۰,۰۹	۶۰	۱۴۱/۲۲
کربن آلی %	۴۵/۲ ± ۰/۱۹۷	۳۶/۰,۲۳۳±۷	35/4±۰,۲۱	۳۶/۴۸	۴۶/۶۷
Ca <sup>+2</sup> %	۰/۰۳۷ ± ۰/۰۰۱۷	۰/۰,۰۱۴±۸۰	۰/68±۰,۰۱	۵۴/۲۸	۶۴
Mg <sup>+2</sup> %	۰/۰۴ ± ۰/۰۰۰۹۷	۰/۰,۰۰۹±۲	۰/31±۰,۰۰	۱۷/۷۸	۳۳/۷۵
Fe <sup>+2</sup> %	۰/۰۴ ± ۰/۰۰۱۴۶	۰/۰,۰۱۵±۰۵۹	0/۰۴۸±۰,۰۱۳	۱/۲۳	۰/۷۷
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> %	۰/۱۱۵ ± ۰/۰۰۶۷	۲/۰,۰۸۹±۹	3/21±۰,۰۷۸	۳۱/۲۴	۳۹/۶
K <sup>+</sup> %	۰/۲۳ ± ۰/۰۰۶۳	۰/۰,۰۱۹۸±۸۱	1/۴3±۰,۰۱۸	۲۹/۲۹	۶۶/۶۷
N %	۰/۲۸۷ ± ۰/۰۱۱۴	۱/۰,۲۳۳±۵۴	1/62±۰,۲۱	۵/۳۶	۶/۳۳
C/N	۱۶۲/۲ ± ۷/۴۷۳	۲۳/۰,۴±۸	21/8±۰,۳۸۹	۳۴۳/۵	۳۵۸/۳۵

کمپوست ۱: کمپوست پوسته برنج بدون کود درختی (میانگین نتایج)

کمپوست ۲: کمپوست پوسته برنج با ۱۰ درصد کود درختی (میانگین نتایج)

\* بررسی تفاوت میانگین ها نشان می دهد که تفاوت های فاحشی بین نتایج نمونه های کود کمپوست با نمونه شاهد در هر کدام از صفات وجود دارد. این امر نشان دهنده بهبود و ارتقای خواص قابل اندازه گیری در کود آلی مورد بررسی نسبت به مواد اولیه مورد بررسی (شاهد) است.

تفاوت میانگین متغیرهای اندازه گیری شده بین کود کمپوست ۲ و شاهد شدیدتر بوده و این بر بهبود کیفیت کود کمپوست پوسته برنج با افزودن کود درختی تاکید دارد.



تصویر ۲ نمونه کود حاصل از پوسته برنج: (a) قبل از افزودن کود درختی، (b) بعد از افزودن کود درختی

جدول ۴ تفاوت بین درصد مواد آلی و کربن آلی و مواد غیر آلی در نتایج بین کود آلی و شاهد و کود آلی با و بدون کود درختی به طور قابل ملاحظه ای مشهود است و این نشان دهنده کیفیت کود پوسته برنج نسبت به شاهد و

تصویر ۲ نیز نمونه ای از کمپوست تولیدی از پوسته برنج (قبل و بعد از افزودن کود درختی) را به تصویر می کشد. تغییر رنگ محصول و تیره تر شدن آن نشان دهنده بهبود رنگ ظاهری محصول به جهت حضور کمپوست درختی در ترکیب کود حاصل از پوسته برنج می باشد. مطابق

لوبیای چشم بلبلی را تقویت کرده است. وزن تر و وزن خشک نمونه‌های کشت شده در خاک شنی محتوی ۵ درصد کمپوست نسبت به نمونه‌های شاهد (کشت شده در خاک فاقد کمپوست) تقریباً بیش از ۲ برابر بوده است. این نتایج نشان دهنده مرغوبیت و کیفیت کمپوست پوسته برنج تولیدی در جوانه‌زنی و افزایش طول بوته لوبیای چشم بلبلی می‌باشد.

نمودار ۳ میانگین تغییرات رشد بذر لوبیای چشم بلبلی با زمان در خاک ماسه‌ای محتوی ۵ درصد کود پوسته برنج را نسبت به نمونه شاهد (رشد لوبیا در همان خاک ماسه‌ای فاقد کود) به تصویر کشیده است. همانطور که مشاهده می‌شود رشد حاصله در خاک محتوی کود تقریباً ۲ برابر بیشتر از نمونه شاهد می‌باشد.

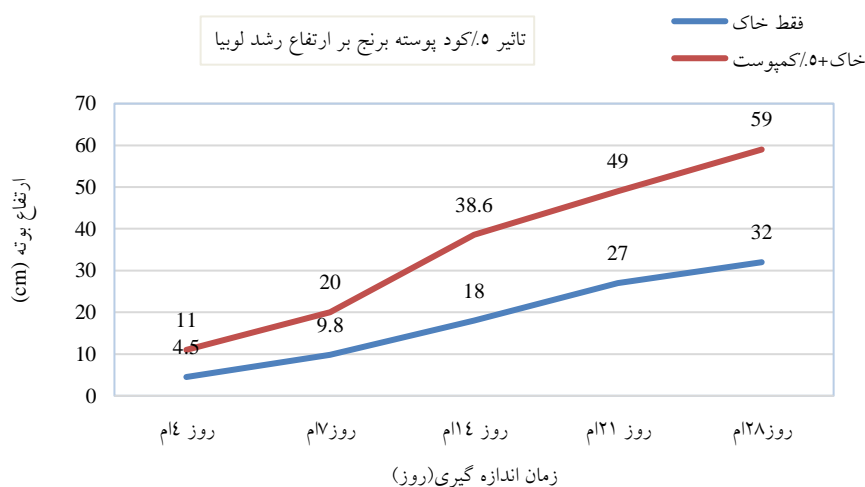
نتایج آنالیز آماری مربوط به اثر کمپوست بر افزایش ارتفاع بوته لوبیا و نیز بر وزن تر و وزن خشک آن در جدول ۵ ملاحظه می‌شود. این نتایج نیز حاکی از اثر مثبت کود پوسته برنج بر افزایش ارتفاع رشد گیاه، افزایش وزن تر و وزن خشک بوته و نیز عدم اختلاف معنی‌دار در نتایج اندازه‌گیری هر نمونه است ( $p < 0.05$ ).

نیز کود پوسته برنج با کود درختی نسبت به کمپوست بدون کود درختی می‌باشد.

### ۲-۵-۳ اثر کمپوست بر جوانه‌زنی بذر لوبیا و افزایش ارتفاع بوته آن

به دلیل رشد مناسب در دمای ۲۵-۳۵ سلسیوس و سهولت بررسی، به صورت اختیاری جهت بررسی اثر کمپوست پوسته برنج بر جوانه‌زنی و سرعت رشد، بذر لوبیا انتخاب شد.

جدول ۵، در بردارنده اطلاعات مربوط به رشد نمونه خاک + کمپوست) کشت بذر لوبیا چشم بلبلی در خاک ماسه‌ای (با کمتر از ۱ در صد ماده آلی) با افزودن ۵ درصد وزنی از کمپوست پوسته برنج می‌باشد. در این راستا، برای نمونه ۷، کنترل، میزان افزایش ارتفاع بوته گیاه برابر با  $9/8 \pm 0/5$ ،  $18 \pm 0/7$  و  $28/6 \pm 0/4$  سانتی متر به ترتیب در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ بود. این در حالی است که نمونه‌های کشت شده در خاک ماسه‌ای با اضافه ۵ درصد کمپوست پوسته برنج، به طور میانگین  $17/48$  سانتی متر در روز ۷م،  $33/27$  تا روز ۱۴م و  $48/85$  سانتی متر تا روز ۲۱م رشد داشته‌اند. بنابراین، افزایش تنها ۵ درصد کمپوست پوسته برنج به خاک ماسه‌ای در هر مرحله بیش از ۱۰۰ درصد رشد



نمودار ۳ منحنی افزایش رشد بوته لوبیا با زمان در خاک ماسه‌ای محتوی ۵ درصد از کود پوسته برنج در مقایسه با شاهد (خاک ماسه‌ای بدون کود)

جدول ۵. محاسبات آماری رشد و وزن بوته لوبیا بر حسب گرم در مدت ۲۱ روز

نمونه-پاسخ زمان	آنالیز آماری شاهد (کشت در خاک ماسه‌ای)			آنالیز آماری کشت نمونه در خاک ماسه‌ای +۵ درصد کمپوست		
	Avg±SE	T-test	-	Avg±SE	T-test	-
ارتفاع بوته در روز ۷م	۹/۸±۰/۱۶۶	۳/۰	*	۱۷/۴۸±۰/۳۵۹	۱/۴۵	*
ارتفاع بوته در روز ۱۴م	۱۸/۰±۰/۱۷۴	۴/۰	*	۳۳/۲۷±۰/۳۹۶	۰/۳۵	ns
ارتفاع بوته در روز ۲۱م	۲۸/۶±۰/۱۸۹	۴/۲۳	*	۴۵/۸۵±۰/۴۱۸	۲/۶۳	*
وزن تر بوته روز ۲۱م	۱/۶±۰/۰۱۶۶	۶/۰	*	۲/۹±۰/۱۳۶	۲/۵	*
وزن خشک بوته روز ۲۱م	۰/۱۵±۰/۰۰۳۶	۲/۸	*	۰/۲۸۸±۰/۰۱	۲/۰	*

\*مقایسه میانگین‌ها از طریق t-test نشان دهنده تفاوت‌های فاحش بین نتایج مربوط به افزایش رشد بوته نمونه‌های شاهد و همچنین تفاوت معنی‌دار در وزن بوته‌ها است. این تفاوت در نتایج مربوط به بذرها کشت شده در مخلوط خاک شنی و کود آلی پوسته برنج و باقیمانده های چوبی وجود دارد، اما نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر است. (NS) تفاوت قابل توجهی بین نتایج وجود ندارد.

با افزودن کود اوره و تیمار و خواباندن آن به مدت ۱۳ ماه می‌باشد، نمونه پوسته برنج مورد بررسی، دارای ۶/۳۰۳ C:N در صد کربن آلی، ۰/۳۷۶ در صد نیتروژن و شاخص C:N آن نیز برابر با ۱۲۱/۳ بوده است. محصول کود آلی تولیدی در پژوهش مورد اشاره نیز دارای ۲۱/۱۳۸ درصد کربن آلی، ۰/۵۵۲ درصد نیتروژن و شاخص C:N برابر ۳۸/۳ می‌باشد [۲۳]، که ضعیف تر از محصول تولیدی در پژوهش حاضر است. در گزارش دیگری که توسط Shareef و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مالزی انجام شد، با به کارگیری پودر استخوان ماکیان در ترکیب پوسته برنج برای تولید کمپوست، محصول تولیدی دارای ۱/۶۴ درصد نیتروژن و ۴۳/۲۴ درصد کربن و شاخص C/N آن برابر ۲۹/۸ بوده است و با نتایج پژوهش حاضر قابل مقایسه می‌باشد [۲۴].

همچنین، با مطالعه تغییرات دما در طی فرایند کمپوست شدن مشخص شد که در ابتدای فرایند، در دسترس بودن مواد مغذی افزودنی و تخریب ترکیبات به آسانی زیست تخریب پذیر، موجب افزایش سریع جمعیت ریزاندامگان و افزایش دما به دلیل آزاد شدن انرژی گرمایی در اثر متابولیسم شدن مواد کمپوست شونده می‌شود، اما با ادامه

مقایسه میانگین افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و وزن خشک بوته گیاه لوبیاچشم بلبلی از طریق t-test، نشان دهنده نداشتن تفاوت معنی‌دار بین نتایج کشت در خاک ماسه‌ای به اضافه ۵ درصد کمپوست پوسته برنج در هر آزمایش و تفاوت معنی‌دار بین نتایج کشت در خاک ماسه‌ای تنها و خاک ماسه‌ای به اضافه ۵ درصد کمپوست می‌باشد. این امر نشان دهنده اثر مطلوب کود آلی مورد نظر (کمپوست) بر میزان جوانه‌زنی (داده‌ها نشان داده نشده) و افزایش ارتفاع بوته لوبیا در زمان مقایسه است.

#### ۴- بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پوسته برنج مورد استفاده در این پژوهش، حکایت از میزان بالای مواد آلی (۸۱/۲۷ درصد) و نیز مواد غیر آلی (۱۸/۷۳ درصد) و C:N برابر ۱۶۱/۳ در آن داشت. محصول کود آلی (کمپوست) تولیدی در این پژوهش نیز دارای کربن آلی ۳۶/۷ درصد و نیتروژن ۱/۵۴ درصد و دارای شاخص C:N برابر ۲۳/۸ می‌باشد. در این راستا، این نتایج با پژوهش‌های پیشین قابل مقایسه است. به‌عنوان مثال، به گزارش Demir و همکاران در سال ۲۰۱۵، در ترکیه می‌توان اشاره کرد. در این گزارش که حاصل پژوهش در مورد تولید کمپوست از پوسته برنج

جوسوو همکاران در تولید کمپوست از ساقه برنج با افزودن پودر استخوان مرغی بود [۳۰]. بنا بر مشاهدات و توضیحات Ogunwande و همکاران (۲۰۰۸) نیز، افزایش pH به دلیل آزاد شدن آمونیاک توسط فعالیت‌های زیستی است [۳۱]. علاوه بر این، در گزارش پیشین بیان شده است که افزایش جزئی pH را می‌توان به تجزیه اسیدهای آلی برای آزاد کردن کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی متصل به مواد آلی نسبت داد [۳۱]. در نهایت کاهش میزان pH، به حدود ۶/۷ طی روزهای ۴۸ تا ۵۵ و بعد از روز ۸۵ را می‌توان به ایجاد شرایط اسیدی به علت تبخیر آب و انتشار CO<sub>2</sub> و NH<sub>3</sub> نسبت داد [۳۲].

نسبت کربن به نیتروژن (C:N)، از مهمترین شاخص‌هایی است که می‌تواند کیفیت کمپوست را تعیین کند [۳۳]. تغییرات خصوصیات پوسته برنج در طی کمپوست شدن (۱۰۰ روز) بر اساس نتایج نسبت کربن به نیتروژن را می‌توان به دو بخش، با تخریب زیاد و تخریب کم تقسیم کرد. بخش تخریب زیاد در طی ۲۰ روز ابتدایی رخ داد و در طی آن نسبت کربن به نیتروژن به شدت کاهش یافته و از ۱۶۱/۲ به ۵۵/۴ رسید. که این امر را می‌توان به تخریب ترکیبات کربنی زودتخریب پذیر در طی زمان‌های اولیه فرایند کمپوست شدن و انتشار CO<sub>2</sub> نسبت داد [۳۳]. سپس، در بخش دوم، در طی ۸۰ روز باقیمانده از ۵۵/۴ به ۲۳/۸ رسید. کاهش نسبت کربن به نیتروژن در طی ۱۰۰ روز، حاکی از بلوغ محصول کمپوست می‌باشد [۳۰]. همچنین، در طی فرایند کمپوست شدن پوسته برنج محتوای PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> و K<sup>+</sup> به صورت پیوسته افزایش یافت و به ترتیب از میزان ابتدایی ۰/۱۱ و ۰/۲۳ به ترتیب به میزان نهایی ۲/۹ و ۱/۴۸ در انتهای فرایند افزایش یافت. این افزایش را می‌توان به تجمع اسیدهای آلی در طی فرایند و تبدیل فسفر و پتاسیم غیرمحلول به فسفر و پتاسیم محلول نسبت داد. این نتایج متناسب و قابل مقایسه با نتایجی است که توسط سابرامانیوم Thiyageshwari و همکاران،

این فرایند به دلیل کاهش مواد راحت زیست تخریب پذیر، و کاهش فعالیت ریزاندامگان دما ابتدا نسبتاً ثابت مانده و در ادامه از اندازه آن کاسته می‌شود. لازم به ذکر است که انرژی انباشته شده در توده کمپوست، باعث افزایش دما و تسریع واکنش‌های زیستی می‌شود [۲۵]. در این راستا، بیشتر، Ta Yeong و همکاران نیز روندی مشابه را در طی فرایند کمپوست ضایعات کشاورزی و غذایی، شامل برگ، علف، ضایعات غذا، خاک اره و پوسته برنج، به ثبت رسانده‌اند [۲۶]. لازم به ذکر است که به دلیل سخت بودن تخریب پوسته برنج توسط ریزاندامگان [۲۷] افزایش دما به سختی به مرز ۳۹ درجه سلسیوس رسیده و به محدوده بهینه دمایی ریزاندامگان گرمادوست نرسیده است [۲۸]. بنابراین، بیشتر ریزاندامگان فعال در فرایند مورد بررسی، جزء ریزاندامگان سردادوست بوده و فعالیت گونه‌های گرمادوست کم بوده است. به عنوان مثال، در گزارشی که توسط Lokman che Jusoh و همکاران در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است، با استفاده از ریزاندامگان موثر در فرایند کمپوست ساقه برنج، دمای محیط کمپوست شونده از حدود ۳۰ درجه شروع شده و به بالاتر از ۴۳ درجه سلسیوس افزایش یافته و حتی به بالاتر از ۵۸ درجه سلسیوس رسیده است و سپس، شروع به کاهش کرده و در پایان ۹۰ روز به حدود ۲۸ درجه سلسیوس افت کرده است. بنابراین، در شرایط دمای بالا عمدتاً ریزاندامگان گرمادوست، بیشترین فعالیت را داشته‌اند [۲۹].

با توجه به تغییرات pH در طی فرایند کمپوست شدن، میزان ابتدایی pH مواد کمپوست شونده برابر ۷/۴ اندازه‌گیری شد. این متغیر در روز ۱۲ ام تا ۷/۰ کاهش یافت. این پدیده می‌تواند با تولید اسیدهای آلی با تخریب مواد آلی مرتبط باشد [۳۰]. همچنین، افزایش pH تا ۸/۲ در روز ۳۲ ام و تا ۸/۳ در روز ۳۸ مشاهده شد. مجدداً کاهش pH پس از روز ۸۵ ام اتفاق افتاد و در نهایت به حدود ۶/۵ رسید. این تغییرات قابل مقایسه با مشاهدات

پژوهش را نشان می‌دهد. در ادامه این پژوهش متغیرهای موثر در تبدیل پوسته برنج بررسی و بهینه می‌شود و جوانه زنی و رشد بذرهاى متعدد مطالعه خواهد شد، تا اطلاعات کامل‌تری در مورد تولید محصول کود آلی از پوسته برنج و متغیرهای موثر و حالت بهینه متغیرها بر فرایند تولید و کیفیت و اثرگذاری آن به دست آید.

#### ۵- منابع

[۱] خسروانی فرهاد؛ پزشکی راد غلامرضا و فرهادیان همایون. ۱۳۹۳؛ بررسی ضایعات و پسماندهای کشاورزی و ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور رسیدن به اهداف توسعه پایدار؛ دو فصلنامه علمی ترویجی سال پنجم، شماره ششم، بهار و تابستان ۱۳۹۳

[2] B. Moeskops, S. Sukristiyonubowo, D. Buchan et al., "Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia," *Applied Soil Ecology*, vol. 45, no. 2, pp. 112–120, 2010.

[3] Umithra Muthayya, Jonathan D. Sugimoto, Scott Montgomery and Glen F. Maberly, "An overview of global rice production, supply, trade, and consumption" *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1324 (2014) 7–14 ©2014 New York Academy of Sciences

[۴] پیمان، م-۱۳۸۲ گزارش نهایی طرح تحقیقات و

بررسی انرژی مصرف پوست کنی و سفید کردن هر رقم

شلتوک رایج استان گیلان-دانشگاه، دانشگاه گیلان

[۵] پیمان، م-۱۳۸۲ گزارش نهایی طرح تحقیقات و بررسی

انرژی مصرف پوست کنی و سفید کردن هر رقم شلتوک

رایج استان گیلان-دانشگاه، دانشگاه گیلان

[6] Fattah, M. Y., F. H. Rahil, and K. Y. H. Al-Soudany. 2013. Improvement of clayey soil characteristics using rice husk ash. *Journal of Civil Engineering and Urbanism* 3 (1):12–18.

[۷] تولایی سارا؛ حریرچی شراره؛ اعتمادی فر زهرا و طاهرزاده محمد. ۱۴۰۱؛ زیست توده های لیگنوسلولزی: منابعی تجدیدپذیر

برای تولید اتانول زیستی؛ فصلنامه علمی زیست شناسی میکروارگانیسم ها، سال یازدهم-شماره ۴۳ پاییز ۱۴۰۱ صفحه ۹۵-۷۱.

در ۲۰۱۸ گزارش شده است. مطابق گزارش فوق در طی مدت ۹۰ روز پوسته برنج با افزودن مایه تلقیح، فسفر و پتاسیم به ترتیب از مقدار اولیه ۰/۱۹ درصد و ۰/۲۲ درصد مرتبا افزایش یافته و به ترتیب به مقدار نهایی ۰/۹۶ و ۱/۲۴ درصد رسیده است [۳۴].

اثر کمپوست تولیدی بر کشت و رشد بوته گیاه (به عنوان نمونه اطلاعات مربوط به لوبیای چشم بلبلی نشان داده شده است) نیز نشان دهنده اثر مطلوب آن بر رشد گیاه می‌باشد. در مورد لوبیای چشم بلبلی، حدود دو برابری افزایش ارتفاع بوته، حدود ۲ برابری وزن تر گیاه و حدود ۲/۸ برابر وزن خشک آن نسبت به حالت بدون کمپوست، حکایت از اثر این کمپوست بر کیفیت و رشد گیاه دارد.

این نتایج قابل مقایسه با نتایجی است که در گزارش سابرائیوم تیاگشورای<sup>۲</sup>، در کشت نخود سیاه آمده است. در این گزارش با به کارگیری کمپوست پوسته برنج به مقدار ۵ تن در هکتار به اضافه ۵۰ درصد RDF<sup>۱</sup> و ۲ کیلوگرم کود زیستی در هکتار، به ترتیب طول ریشه در خاک بدون کمپوست ۱۲/۶۱ و ۱۲/۸۷ سانتی متر و در خاک با کمپوست به اضافه کود زیستی و ذکود پیشنهادی برابر ۱۹/۸۲ و ۲۵/۸۶ سانتی متر و در شرایط دیگر ۲۲/۵۰ و ۲۵/۶۹ سانتی متر گزارش شده است [۳۴ و ۳۵].

نتایج بررسی آماری میانگین افزایش ارتفاع بوته نیز نشان دهنده حدود دو برابری افزایش ارتفاع بوته لوبیا چشم بلبلی در خاک محتوی ۵ درصد کمپوست پوسته برنج بوده که نشان دهنده عدم سمیت و کیفیت مطلوب کود کمپوست فوق می‌باشد. این نتایج قابل مقایسه با نتایج گزارش شده توسط علی مرادی و همکاران در انتخاب بستر کشت مناسب برای جوانه زنی لوبیا چشم بلبلی در بستر ماسه‌ای است [۳۶ و ۳۷].

به طور کلی نتایج این پژوهش ظرفیت پوسته برنج برای تبدیل به کود آلی (کمپوست) با کیفیت مطلوب در شرایط

<sup>۱</sup> Recommended dose of fertilizer

- [۱۹] چراغی مهرداد؛ جعفری ممتازمینو؛ کلاهچی نسرين، ارزیابی جوانه زنی و رشد گیاه لوبیا چشم بلبلی (*vigna unguiculata*) در پاسخ به آلودگی نفتی، اولین همایش ملی تنش های گیاهی غیرزیستی - ۱۳۹۲
- [20] Sundberg, C., Smårs, S., Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bio resource technology*, 95(2), 145150.
- [21] Jusoh, M. L. C., Manaf, L. A., Latiff, P. A. (2013). Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 10(1), 1-9.
- [22] De Vos, B., Let tens, S., Muys, B., Deckers, J. A. (2007). Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management*, 23(3), 221-229.
- [23] Ščančar, J., Milačič, R., Stražar, M., Burica, O. (2000). Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 250(1-3), 9-19.
- [24] Demir, Z., Gülser, C. (2015). Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 185-190.
- [25] Rabah S. Shareef 1,2, Awang soh3, Zakaria wahab4 and Ibni Hajar Rukunudin5 (2016). Rapid composting of rice husks with chicken bones to produce compost rich with calcium and the effect of product compost in the increase of soil pH value. *JPER*, Vol. (1):0024-0030.
- [26] Anda, M., Syed Omar, S. R., Shamshuddin, J., Fauziah, C. I. (2008). Changes in properties of composting rice husk and their effects on soil and cocoa growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(15-61), 2221-9422
- [27] Tai, H. S., & He, W. H. (2007). A novel composting process for plant wastes in Taiwan military barracks. *Resources, conservation and recycling*, 51(2), 408-714
- [28] Prasad, C.S.; Maiti, K.N.; Venugopal, R. Effect of RHA in White Ware Composition. *Ceram. Int.* 2000, 27, 629-635
- [29] S SINGH and L NAIN, Microorganisms in the Conversion of Agricultural Wastes to Compost. Proc Indian Natn Sci Acad 80 No. 2 June 2014 Spl. Sec. pp. 473-481
- [30] Mohd Lokman Che Jusoh, Latifah Abd Manaf and Puziah Abdul Latiff (2013). Composting of rice straw with effective microorganisms(EM) and its influence on compost quality. *Iranian Journal of Environmental Health sciences& Engineering*, 10:17
- [8] Gable, M., Zac chi, G., 2007. Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. *Adv. Biochem. Eng. Bioethanol*. 108, 41-65
- [9] Kamperidou, V., Terzopoulou, P. (2021). Anaerobic digestion of lignocellulosic waste materials. *Sustainability*, 13(22), 12810.
- S SINGH and L MAIN, 2014. Microorganisms in the conversion of Agricultural wastes to ]10[ *Compost. Proc Indian Natn Sci Acad* 80 No. 2 June 2014 Spl. Sec. pp. 473-481
- [۱۱] معصومی بهمن؛ طالب بیدختی ناصر و نوشادی سعید. ۱۳۹۲؛ بررسی عوامل موثر بر تولید کمپوست؛ کیفیت کمپوست؛ شاخصه ها و دامنه تغییرات؛ دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم - ۱۳۹۲
- [12] Omoni, V. T., Lag-Brotons, A. J., Ibeto, C. N., Semple, K. T. (2021). Effects of biological pre-treatment of lignocellulosic waste with white-rot fungi on the stimulation of 14Cphenanthrene catabolism in soils. *International Bio deterioration & Biodegradation*, 165, 105324.
- [13] Zhu, N. (2007). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bio resource Technology*, 98(1), 9-13.
- [14] Karadag, D., Özkaya, B., Ölmez, E., Nissilä, M. E., Çakmakçı, M., Yıldız, Ş., Puhakka, J. A. (2013). Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant. *International Bio deterioration & Biodegradation*, 77, 85-90.
- [15] Habibi, E., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S., Tari, D. B. (2019). Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 191(4), 1-23.
- [16] Razavi, N. M., Jafarzadeh, D. F., Ouroumiehei, A. A., & Ershad, L. A. (2006). Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice husk filled polypropylene composites. *Iranian Polymer Journal* 15(9): 757-766.
- [17] Wu, D., Wei, Z., Mohamed, T. A., Zheng, G., Qu, F., Wang, F., Song, C. (2022). Lignocellulose biomass bioconversion during composting: Mechanism of action of lignocellulose, pretreatment methods and future perspectives. *Chemosphere*, 286, 131635.
- [۱۸] کامیاب فاطمه؛ واعظی شاهین؛ آقایی محمد جعفر و ربیعی مینا. ۱۳۹۶، بررسی اثر تنش شوری بر جوانه زنی و رشد اولیه ارقام گیاه لوبیای چشم بلبلی (*vigna unguiculata*) درحاشیه کویر دوره ۴ شماره ۳ پاییز، پژوهش فصلنامه، ۳۰ آذر ۱۳۹۶ ص ۲۱۶-۲۰۵

Anandham and Diby Paul (2018). Exploration of Rice Husk Compost as an Alternate Organic Manure to Enhance the Productivity of Black gram in Typic Haplustalf and Typic Rhodustalf. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15, 358; doi:10.3390/ijerph15020358

[36] Malik, M.M.R.; Akhtar, M.J.; Ahmad, I.; Khalid, M. Synergistic Use of *Rhizobium*, Compost and Nitrogen to Improve Growth and Yield of Mungbean (*Vigna radiata*). *Pak. J. Agric. Sci.* 2014, 51, 393–398.

[۳۷] مرادی علی؛ منصوری مهناز و بهبود رویا- ۱۳۹۷  
 ،انتخاب بستر کشت مناسب برای جوانه‌زنی بذره‌های  
 چاودار (Secale cereale) ولوبیا چشم بلبلی (Vigna  
 unguiculata)، اولین همایش ملی علوم کشاورزی و زیست  
 محیطی ایران-۱۰ بهمن ۱۳۹۷

[31] Kumar, A.; Gaind, S.; Nain, L. Evaluation of Thermophilic Fungal Consortium for Paddy Straw Composting. *Biodegradation* 2008, 19, 395–402.

[32] Ogunwande, G. A., Osunade, J. A., Adekalu, K. O., Ogun Jimi, L. A. O. (2008). Nitrogen loss in chicken litter compost as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency. *Bio resource Technology*, 99(16), 7495-3057

[33] Subramaniam Thiyageshwari, Pandurangan Gayathri, Ramasamy Krishnamurthy, Rangasamy Anandham<sup>2</sup> and Diby Paul (2018), Exploration of Rice Husk Compost as an Alternate Organic Manure to Enhance the Productivity of Black gram in *Typic Haplustalf* and *Typic Rhodustalf*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*(2018)

[34] Eiland, F.M.; Klamer, A.; Lind, N.; Leth, M.; Baath, E. Influence of Initial C: N Ratio on Chemical and Microbial Composition during Long Term Composting of Straw. *Microb. Ecol.* 2004, 41, 272–280.

[35] Subramaniam Thiyageshwari, Pandurangan Gayathri, Ramasamy Krishnamurthy, Rangasamy

# Production of organic fertilizer from a mixture of rice husk and wood waste by Aerobic microbial composting method using bread mold fungi and whey

Kamel Yaghoubi<sup>1</sup>, Rasoul Khalilzadeh<sup>2\*</sup>, Ali Bahrami<sup>3</sup>, Asieh Aramvash<sup>4</sup>

1. PhD Student, Institute of Biosciences and Biotechnology, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Institute of Biosciences and Biotechnology, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Institute of Biosciences and Biotechnology, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Institute of Biosciences and Biotechnology, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

rkhililzadeh@mut.ac.ir

## Abstract

Every year, more than 600,000 tons of rice husk are produced in rice mills in Iran, which are left in nature without proper use or burned. But, with biotechnological methods, it is possible to convert these agricultural wastes into compost with high content of nitrogen and minerals. Accelerating the production of high quality organic fertilizer and reducing the process time requires determining and studying the factors affecting the composting process. In this research, rotten wood waste in the presence of whey was used as an inoculum and the process was studied for one hundred days. The results showed that the process of rice husk composting decreased the ratio of carbon to nitrogen from 161.2 to 23.8 (85.2% decrease) and also increased the nitrogen content from 0.28 to 1.54 percent (4.5 times increase). By studying temperature changes during the process, it was determined that the degradation of easily biodegradable compounds at the beginning of the process caused an increase in the population of microorganisms and an increase in temperature ( $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), and as the process continued, the temperature of the composting environment gradually decreased to environment temperature ( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). On the other hand, the results indicated that the addition of 5% of tree bark fertilizer by increasing of Inorgm. From 27.8 to 31.46 and decreasing of OC 36.7 to 35.4 and C: N ratio from 23.7 to 21.8 affected the quality of the compost content and it changed the color of the product. The results of the evaluation of the produced compost showed that adding 5% percent by weight of rice husk compost to the sandy soil had a significant effect on the growth length ( $75\pm 10\%$ ) and weight ( $79\pm 2\%$  wet weight and  $90\pm 2\%$  for dry weight) of cowpea.

**Keywords:** organic fertilizer, lignocellulosic waste, biodegradation, biomass, microorganisms, C/N ratio.