

بررسی اثرات هوادهی بر کیفیت و مدت زمان تولید کمپوست در روش هوادهی توده ثابت

- ۱- مزدک رساپور^۱ ۲- همایون رضا مدنی شاهرودی^۲ ۳- فرزانه طهموریان^۳
۴- سیاوش عباسی^۴

چکیده:

گسترش و رشد جمعیت بشری، شهرنشینی و صنعتی شدن شهرها از یک طرف و افزایش نیازها و تقاضای بشر از طرف دیگر باعث شده است که حجم و وزن مواد زائد شهری در طی چند دهه اخیر افزایش یابد. امروزه استراتژی های متفاوتی در زمینه مدیریت مواد زائد جامد در دنیا بکار برده می شود که مهمترین آنها عبارتند از: ۱- جلوگیری و یا کاهش تولید زباله ۲- استفاده مجدد از مواد زائد ۳- بازیافت مواد زائد ۴- سوزاندن مواد زائد ۵- دفن بهداشتی مواد زائد (Garcia et al., 2005).

کمپوست، محصول حاصل از بازیافت مواد زائد آلی از طریق تیمار هوازی می باشد که می تواند جایگزین مناسبی برای مصرف بی رویه کودهای شیمیایی باشد (Manios, 2004).

روشهای متفاوتی برای تولید کمپوست وجود دارد که هر یک دارای مزایا و محدودیتهای مربوط به خود هستند که معمولاً با شاخص هایی نظیر کیفیت محصول تولیدی، هزینه های ثابت و متغیر، پیچیدگی تکنولوژی در دسترس و میزان انتشار بوی زننده در مقیاس صنعتی با هم مقایسه می شوند (Renkow et al., 1998).

روش هوادهی توده ثابت یکی از روشهای تولید کمپوست است که به خاطر ویژگی مخصوص به خود که مهمترین آن کاهش جاری شدن شیرابه به خاطر استفاده از بستر مناسب و همچنین کاهش تلفات مواد مغذی است یکی از روشهای مناسب تولید کمپوست می باشد (Solano et al., 2001).

واژگان کلیدی: مواد زائد شهری، کمپوست، نرخ هوادهی، روش هوادهی توده ثابت

۱- بیان مساله:

-
- ۱- کارشناس ارشد مکانیزاسیون- کارشناس سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران
۲- کارشناس ارشد بهداشت محیط- معاونت آموزش، پژوهش و توسعه سازمان بازیافت شهرداری تهران
۳- کارشناس ارشد مدیریت پسماند و بازیافت منابع- کارشناس سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران
۴- کارشناس برنامه ریزی- مدیر آموزش سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران

فرآیند تولید کمپوست تجزیه مواد زائد آلی در حضور اکسیژن است که محصولات تولیدی شامل آب، آمونیاک، دی اکسید کربن و حرارت می باشد. فرآیند تولید کمپوست یک فرآیند هوازی است. از طرف دیگر فرآیندهای بی‌هوازی تثبیت مواد زائد در محیطی خالی از اکسیژن صورت می‌گیرد که محصول نهایی آن شامل گاز متان، دی‌اکسید کربن، آمونیاک و سایر گازها می‌باشد. همچنین در هر دو فرآیند هوازی و بی‌هوازی مولکولهای سبک وزن اسیدهای آلی نیز تولید می‌گردند. در فرآیند تولید کمپوست به خاطر تولید انرژی حرارتی بالا نرخ تجزیه مواد در این فرآیند بالاست. فرآیند بی‌هوازی در تولید کمپوست فرآیند آرامی است و منجر به تولید بوی نامطبوع زیادی می‌گردد (polprasert, 1996).

در حالت کلی سیستم‌های تولید کمپوست به دو دسته محلی و غیر محلی تقسیم می‌شوند سیستم‌های محلی آن دسته را شامل می‌شوند که مواد کمپوست شونده در محل تولید، تبدیل به کمپوست می‌شود. در این سیستم‌ها فرآیند تولید به شکل کاملاً طبیعی و کنترل نشده انجام می‌گیرد. اما در سیستم‌های تولید غیر محلی مواد کمپوست شونده جمع‌آوری شده و به محلی از پیش تعیین شده منتقل می‌شوند. در این سیستم‌ها فرآیند تولید به شکل کنترل شده دنبال می‌شود.

فرآیند تولید کمپوست هم به صورت هوازی و هم به صورت بی‌هوازی صورت می‌گیرد ولی سیستم‌های تولید غیر محلی کاملاً به صورت هوازی انجام می‌شوند که علت آن کم کردن طول مدت زمان تجزیه بیولوژیکی مواد زائد جامد می‌باشد. تقسیم‌بندهای مختلفی در مورد سیستم‌های تولید غیر محلی وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- روش برگرداندن توده
 - ۲- روش هوادهی فعال
 - ۳) روش هوادهی غیر فعال
 - ۴) روش تولید کمپوست در رآکتور Stelmachowski
- (et al., 2003).

در بعضی از منابع، هوادهی طبیعی را نیز جزء این تقسیم‌بندی قرار داده‌اند (Barrington et al., 2002). روش هوادهی چینی که یکی از قدیمی‌ترین روشها می‌باشد نیز از جمله روشهای تولید کمپوست محسوب می‌شود (Polprasert, 1996).

کمپوست هوازی نیازمند هوادهی مناسب است که از طریق این هوادهی مناسب، اکسیژن کافی برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها فراهم گردد. هوادهی برای توده کمپوست شونده نسبت به نوع سیستمی که بکار برده می‌شود

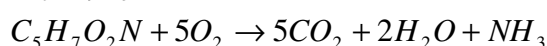
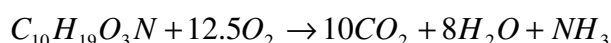
متفاوت است. اگر هوادهی بیش از اندازه لازم باشد موجب تلف شدن حرارت توده می‌شود و برعکس اگر هوادهی کمتر از میزان لازم باشد شرایط بی‌هوازی در داخل توده ایجاد می‌شود (polprasert, 1996).

۱-۱- روشهای انتقال اکسیژن از محیط به داخل توده: (Anonymous, 2003)

همرفت و انتشار دو مکانیزمی هستند که از طریق آنها اکسیژن از هوای آزاد به داخل توده کمپوست شونده وارد می‌شود و از این طریق در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرد. انتقال اکسیژن در داخل توده تحت تاثیر رطوبت داخل توده است به طوریکه هر دو فرآیند همرفت و انتشار در شرایط توده اشباع شده از آب کاهش پیدا می‌کند.

۱-۲- تعیین نرخ هوادهی

روش ساده تخمین نرخ هوادهی لازم بر اساس واکنش استوکیومتریک اکسیداسیون مواد زائد تخمین زده می‌شود. در این حالت اطلاعات کامل در مورد ترکیبات شیمیایی مواد زائدی که در فرآیند تولید کمپوست شرکت دارند برای محاسبات لازم و ضروری است. واکنش‌های استوکیومتریک برای اکسیداسیون کامل ترکیبات به صورت زیر است.



بخشی از آمونیاک موجود در فرمول فوق اگر pH توده بالای ۷ باشد به صورت تبخیر تلف می‌شود (Polprasert, 1996). غلظت اکسیژن در خلل و فرجهای توده باید حداقل ۵ درصد باشد تا حالت هوازی در داخل توده حفظ گردد. محققان زیادی بر روی هوادهی بهینه در روش هوادهی فعال تحقیقاتی را انجام داده‌اند و هر یک دامنه‌ای را برای دبی هوا مشخص نموده‌اند. وایلی و همکاران نرخ ۰/۳۴ تا ۱/۱۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده زائد در دقیقه را برای هوادهی مواد زائد پیشنهاد کرده‌اند. پوسدر سال ۱۹۹۱ میلادی در تحقیق خود برای تولید کمپوست از مواد زائد کشاورزی نرخ‌های بهینه برای تولید کمپوست را بین ۰/۵ تا ۱/۱۶ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده آلی را پیشنهاد کرد.

کینرو همکاران در سال ۲۰۰۱ میلادی دامنه نرخ هوادهی را بین ۰/۳ تا ۰/۹ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده آلی معرفی کردند. وینینگ در سال ۲۰۰۲ نرخ بهینه برای تولید کمپوست از برخی ضایعات کشاورزی را ۰/۶۹ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده آلی تخمین زد. به نقل از (Kulcu et al., 2003)

هوادهی‌هایی نیز به منظور تیمار مواد زائد کشاورزی با مقاومت بالا در مقیاس آزمایشگاهی و در داخل رآکتور صورت گرفته است. مثلاً در بررسی که توسط (Ugwanyi et al., 2004) صورت گرفته است از ۴ نرخ هوادهی ۰/۱،

۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ لیتر به ازای هر کیلوگرم مواد زائد استفاده شده و مشخص گردیده است که در نرخهای هوادهی بالاتر بازده راکتور بالاتر است و همچنین با نرخهای هوادهی بالاتر غلظت اسیدهای آلی فرار نیز کمتر است. بررسی‌هایی نیز در مقیاس صنعتی برای مشخص کردن دامنه هوادهی مناسب برای زباله صورت گرفته است. برنرو همکاران میزان مناسب نرخ هوادهی در این حالت را ۰/۵ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده زائد در دقیقه بیان کرده اند. در صورتی که واندر با مشخص کردن دامنه‌ای، این میزان را بین ۰/۶ تا ۰/۹۴ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده زائد در رطوبت ۴۵٪ بیان کرده است.

مصرف ویژه اکسیژن که مشخص کننده فعالیت تنفسی است در روش هوادهی توده ثابت در ابتدای مراحل تولید کمپوست در حدود ۱۹ میلی گرم اکسیژن به ازای هر گرم مواد زائد در ساعت است که این میزان به حدود ۱/۸۱ میلی گرم در حدود ۵۱ روز بعد از هوادهی می‌رسد (Nikolas et al., 2002).

تعیین میزان تنفس در توده به خاطر دلایل زیر قابل توجه است (Korner et al., 2002):

- ۱- مشخص کردن میزان تجزیه مواد
- ۲- مشخص کردن تاثیر کاتالیزورها برای افزایش سرعت واکنش
- ۳- مشخص کردن میزان فعالیت متابولیسم‌های فعال در تولید کمپوست
- ۴- تعیین زمان بلوغ توده کمپوست

۲- مواد و روشها:

۲-۱- مقدمه:

آنالیزهای انجام گرفته بر روی زباله‌های شهری در کشور بیان کننده آن است که درصد قابل توجهی از زباله‌های تولیدی در کشور به صورت زباله‌های آلی قابل تبدیل به کمپوست می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که یکی از روشهای توجیه پذیر به منظور برخورد با زباله‌های شهری تبدیل این مواد به کمپوست است. روش هوادهی توده ثابت یکی از روشهای شناخته شده و پرکاربرد در دنیا می‌باشد که در چند سال اخیر نیز در مقیاس صنعتی به منظور تولید کمپوست در کشور و در مجتمع آراد کوه وابسته به سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوپا بودن این تکنولوژی در کشور و کمبود اطلاعات فنی در این زمینه نیاز به تحقیقات وسیع به منظور افزایش بهره وری کمپوست حاصل را توجیه می‌کند. این تحقیق در شهرداری شهر بروجرد و با همکاری سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران صورت پذیرفت. خوشبختانه قبل از شروع این پروژه و در سال ۸۳

آنالیز کاملی بر روی زباله‌های شهری در شهرستان و با مشاورت شرکت بازیافت مواد و تولید کود آلی کرمانشاه صورت پذیرفته بود که حاوی اطلاعات کاملی در زمینه انواع و اقسام مواد زائد شهری و سرانه تولید آن می‌باشد.

۲-۲- مشخصات کلی پروژه:

در این تحقیق هدف، تعیین مناسب‌ترین نرخ هوادهی به منظور تولید کمپوست از مواد زائد جامد شهری به روش هوادهی توده ثابت است. هوادهی بهینه به این منظور حائز اهمیت است که تاثیر عمده‌ای بر روی مدت زمان تولید کمپوست و کیفیت محصول تولیدی دارد یعنی می‌توان گفت که کمپوست در مدت زمان کمتری به حالت بلوغ می‌رسد. هوادهی بیش از اندازه منجر به سرد شدن توده می‌گردد و همچنین مقدار قابل توجهی از رطوبت توده را از بین می‌برد. از طرف دیگر هوادهی کم نیز باعث می‌شود که میکروارگانیسم‌های فعال در توده قادر به فعالیت بهینه نباشند. کمپوست تولیدی از مواد زائد شهری هنوز نتوانسته است جایگاه مناسب خود را به منظور کاربرد در مصارف کشاورزی پیدا کند که دلیل عمده آن کمبود درصد عناصر مغذی در کمپوست حاصل در زمان مصرف آن می‌باشد. مدیریت مناسب تولید کمپوست می‌تواند تا حد زیادی کیفیت کمپوست تولیدی را ارتقاء بخشد. مثلاً یکی از مسائل مهم در مدیریت تولید جلوگیری از تلفات ازت می‌باشد. هوادهی‌های مورد آزمون در این تحقیق به ترتیب ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۹ لیتر هوا به ازای هر لیتر ماده زائد در دقیقه می‌باشد.

۲-۳- مراحل مختلف ساخت

۲-۳-۱- ساخت سرند تفکیک زباله

۲-۳-۲- ساخت لوله‌های مخصوص برای اندازه گیری دما

۲-۳-۳- ساخت پمپ‌های مخصوص هوادهی

۲-۴- مراحل مختلف به منظور تشکیل توده‌ها:

قبل از تشکیل توده‌ها لازم بود که زباله‌های اولیه تفکیک گردند و سپس سرند شوند.

۲-۴-۱- تفکیک زباله‌ها:

به منظور تفکیک زباله‌های کلی از موادی نظیر شیشه، پلاستیک، فلز و سایر مواد مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی از تعدادی نیروی کارگری استفاده گردید. مواد غیر آلی نیز توسط لودر برای دفن به جایگاه مخصوص منتقل می‌گردید.

۲-۴-۲- سرند کردن زباله‌ها:

پس از تفکیک اولیه زباله‌ها با استفاده از لودر عملیات سرد کردن زباله‌ها انجام گرفت. سرد ساختن شده دارای شبکه‌های ۸ سانتی متری بود که از زباله‌های زیر سرنندی آن بمنظور ساخت توده‌ها استفاده شد.

۵-۲- جزئیات تشکیل توده‌ها:

پشته‌های مورد آزمون دارای ۳ متر عرض، ۸ متر طول و ۱/۶ متر ارتفاع می‌باشند. در زیر توده‌ها و در بستر آن از کمپوست درجه ۲ استفاده می‌شود و هدف از آن جلوگیری از جاری شدن شیرابه و همچنین جلوگیری از تلفات مواد مغزی می‌باشد. کمپوست درجه ۲ با ارتفاع ۲۰ سانتی متر در بستر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از کمپوست درجه ۱ نیز به منظور پوشاندن توده استفاده می‌شود که دلایل استفاده از آن جلوگیری از پخش بوی زننده و همچنین جلوگیری از تلفات حرارتی توده می‌باشد. روی زباله‌ها نیز به ارتفاع ۲۰ سانتی متر از کمپوست درجه ۱ پوشانده می‌شود. لوله‌های P.V.C بر روی کمپوست درجه ۲ قرار می‌گیرند و زباله‌ها روی آن ریخته می‌شوند.

لازم به ذکر است که برای وصل کردن لوله‌های P.V.C به پمپها نیز از لوله‌های آلومینیومی استفاده می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد مجاری دائمی در زمان هوادهی در این روش از تناوب ۱۵ دقیقه‌ای استفاده شد بدین صورت که به ازای هر ۱۵ دقیقه هوادهی ۱۵ دقیقه پمپ خاموش می‌شد. برای این منظور از یک تایمر استفاده شد.

۶-۲- معیارهای ارزیابی

در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت تولید از معیارهایی که تغییرات آنها نشان دهنده کیفیت و رسیدگی توده کمپوست شونده است استفاده شده است. یکی از این معیارها درصد ازت است، یکی از محدودیت‌های استفاده از کمپوست حاصل از مواد زائد شهری پایین بودن درصد ازت می‌باشد که در روش هوادهی توده ثابت به خاطر استفاده از بستر مناسب کمپوست آماده در زیر توده می‌توان به میزان زیادی از تلفات ازت به صورت شیرابه جلوگیری کرد. تغییرات کربن آلی نیز در طول مدت زمان تولید کمپوست در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است و درصد معدنی شدن آن در طول مامهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. معیار دیگر اندازه گیری شده نسبت کربن به ازت است که روند کاهشی آن که نشان دهنده بلوغ توده است مورد بررسی قرار گرفته است. یکی دیگر از معیارهای مهم اندازه گیری شده میزان $\text{NO}_3\text{-N}$ یا همان ازت نیتراتی می‌باشد. ارزش این پارامتر به دلیل سهل الوصول بودن جذب نیتروژن نیتراتی توسط گیاه است

۷-۲- آنالیزهای انجام گرفته

۱-۷-۲) دما: برای اندازه گیری دمای داخل توده از ترمومتر دیجیتالی استفاده می‌گردد که سیم مخصوص آن در داخل لوله‌های مخصوص اندازه گیری دما قرار می‌گیرد و دمای توده اندازه گیری می‌گردد.

۲-۷-۲) اندازه گیری ازت: برای اندازه گیری نیتروژن کل از روش کج‌لدال استفاده گردید. (Jones, 2000)

۳-۷-۲) اندازه گیری pH: اندازه گیری pH از روش حجمی استفاده گردید.

۴-۷-۲) اندازه گیری $\text{NO}_3\text{-N}$: برای اندازه گیری $\text{NO}_3\text{-N}$ از روش اسپکتروفتومتری و رنگ سنجی استفاده شد.

۵-۷-۲) کربن: درصد کربن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

(۲-۱)

که درصد خاکستر از سوزاندن نمونه

$$C\% = \frac{100 - \text{Ash}\%}{1.8}$$

ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شود.

۸-۲) روش نمونه برداری از توده: (Anonymous, 2005)

به منظور نمونه برداری که بصورت ماهیانه انجام گرفته توسط بیل دو مقطع در طول توده ایجاد شد و از عمق‌های مختلف توده پنج نمونه برداشته شد. نمونه‌های برداشته شده از هر دو مقطع با هم مخلوط و از مخلوط حاصل یک نمونه انتخاب شد. همین کار با دو مقطع دیگر در توده دوباره انجام پذیرفت و همین مراحل مجدداً تکرار گردید. هر دو نمونه حاصل از هر توده برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شد.

۹-۲) تحلیل‌های آماری:

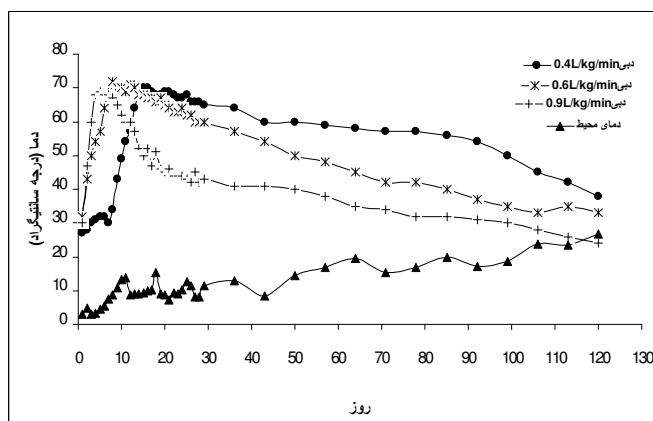
به منظور تحلیل داده‌های حاصل از طرح آشیانه ای فاکتوریل استفاده شد.

۳- نتایج و بحث:

۱-۳) روند تغییرات دما:

اگر دمای مزوفیلیک را در محدوده ۲۵ تا ۴۰ درجه و دمای ترموفیلیک را در محدوده ۵۰ تا ۶۵ درجه در نظر بگیریم هوادهی 0.4L/kg/min بعد از ۱۰ روز به دمای ترموفیلیک رسید. حال آنکه این مدت زمان برای هوادهی‌های 0.6L/kg/min و 0.9L/kg/min به ترتیب سه و دو روز بوده است. مطابق با نمودارهای دمایی به وضوح قابل مشاهده است که نرخ هوادهی کمتر یعنی 0.4L/kg/min طول دوره زمانی محدوده دمایی ترموفیلیک

بیش از سایر دبی‌های بکار برده شده است و برعکس در هوادهی بالاتر این مدت کوتاهتر شده است. مطابق با نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان بیان نمود که هر چه هوادهی بالاتر باشد توده سریعتر به دمای ترموفیلیک می‌رسد ولی در این شرایط کاهش دما به حدود دمای محیط نیز سریعتر اتفاق می‌افتد. نمودارهای مختلف دمایی برای هوادهی‌های مختلف بکار برده شده همراه با نمودار دمای محیط ترسیم شده‌اند تا مقایسه کاملی بین دمای محیط و دمای توده امکان پذیر باشد.



شکل ۱-۳ نمودار تغییرات دما مربوط به نرخ های هوادهی مختلف

۳-۲- روند تغییرات کربن آلی:

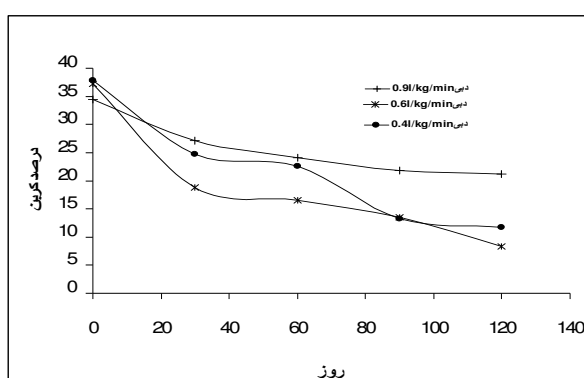
نتایج تجزیه داده‌ها در جدول (۳-۱) قابل مشاهده است. با توجه به نمودار و همچنین جدول تجزیه داده‌ها در سطح اطمینان ۱٪ بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌گردد.

جدول ۳-۱ تجزیه داده‌های مربوط به کربن آلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۲	۲۳۸/۷۳۳	۱۱۹/۳۶۷	۸/۹۱۸**
ماه	۴	۱۸۱۵/۹۹۴	۴۳۷/۹۹۹	۳۵/۴۱**
هوادهی×ماه	۸	۱۸۷/۵۶۵	۲۳/۴۴۶	۱/۷۵۲ ^{NS}
خطا	۱۵	۲۰۰/۷۶۸	۱۳/۳۸۵	

در بین تیمارها هوادهی 0.9L/kg/min نسبت به سایر نرخهای هوادهی در کاهش TOC موثر عمل نکرده است که این واقعیت از جدول مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارها قابل بررسی است. از دلایل عمده آن می‌تواند کاهش سریع‌تر دمای توده به خاطر هوادهی با نرخ بالا و همچنین خشک شدن توده باشد زیرا با خشک شدن توده از فعالیت جمعیت میکروارگانیسم‌ها به طور چشمگیری کاسته می‌شود.

همچنین آنالیز بین ماههای مختلف نشان می‌دهد که با سطح اطمینان ۱٪ می‌توان بیان نمود که کاهش میزان کربن آلی در این تحقیق نیز کاملاً نسبت به ماههای دیگر معنی‌دار بوده است و در ماه اول کاهش بیشتری حاصل شده است. روند کاهش تا ماههای آخر نیز مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۲ نمودار تغییرات درصد کربن در نرخ های هوادهی مختلف

۳-۳- روند تغییرات ازت:

ازت یکی از عمده‌ترین عناصر مورد نیاز گیاه است که درصد بالای آن در کمپوست از جمله معیارهای کیفیت بالای کمپوست تولیدی است. میزان تمرکز ازت در کمپوست حاصل از مواد زائد شهری کمتر از کمپوست تولیدی از سایر مواد زائد از جمله فضولات دامی و ضایعات کشاورزی است. بنابراین آندسته از سیستم‌های تولیدی که بتوانند میزان ازت را افزایش دهند و از تلفات جلوگیری کنند در اولویت‌اند. جدول (۳-۲) بیان کننده تجزیه داده‌های مربوط به ازت در این تحقیق است.

جدول ۳-۲ تجزیه داده‌های مربوطه به ازت کل

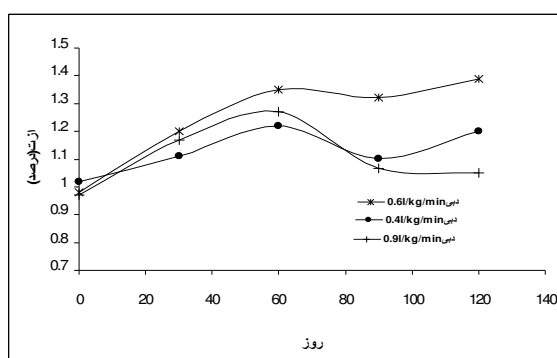
منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۲	۰/۱۲۷	۰/۰۶۳	۹/۲۸**
ماه	۴	۰/۲۸۱	۰/۰۷۵	۱۰/۳۱**
هوادهی×ماه	۸	۰/۱۱۸	۰/۰۱۵	۲/۱۶ ^{NS}

خطا	۱۵	۰/۱۰۲	۰/۰۰۷
-----	----	-------	-------

با توجه به جدول تجزیه داده‌ها از بین سه نرخ هوادهی، هوادهی ۰/۶L/kg/min با سطح اطمینان ۱٪ در افزایش درصد میزان ازت کل موثرتر عمل کرده است. که از دلایل آن وجود دامنه دمایی مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کاهش موثرتر کربن آلی در توده بوده است. که این نتیجه‌گیری با توجه به جدول مقایسه میانگین تیمارها برای ازت مشخص شده است.

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته ازت مربوط به دو تیمار دیگر یعنی هوادهی‌های ۰/۴L/kg/min و ۰/۹L/kg/min باهم دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ نبودند.

آنالیز بین ماه‌های مختلف بیانگر این واقعیت است که در سطح اطمینان ۱٪ روند تغییرات ازت در مورد تمام هوادهی‌های بکار برده شده در طی این مدت دارای روند افزایشی بوده است. همچنین درصد افزایش ازت در ماه اول بیش از سایر ماه‌ها بوده است که علت اصلی آن کاهش بیشتر کربن آلی در ماه اول است.



شکل ۳-۳ تغییرات ازت در نرخ‌های هوادهی مختلف

۳-۴- روند تغییرات نسبت کربن به ازت (C/N):

نسبت کربن به ازت در فرآیند تولید کمپوست کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن معدنی شدن مواد آلی می‌باشد. نسبت کربن به ازت در تمام توده‌های بکار برده شده در این تحقیق در محدوده مقداری مشخص بوده‌اند تا تاثیر هوادهی‌های مختلف بر روی روند تغییرات کربن به ازت مورد بررسی قرار گیرد. معمولاً نسبت کربن به ازت در مواد زائد شهری بالاتر از میزان مناسب لازم برای آن می‌باشد. در تولید کمپوست از مواد مختلف سعی می‌شود که با

اضافه کردن مواد مختلف این نسبت را به مقدار مناسب برسانند. ولی در تولید کمپوست از زباله شهری انجام این امر مشکل است زیرا میزان تولید زباله‌های شهری بالاست و عملاً اضافه کردن موادی که در کاهش میزان کربن به نیتروژن اولیه موثر باشد مشکل است. هر چند که استفاده از فاضلابهای شهری می‌تواند در تعدیل این نسبت موثر باشد. به علت معنی دار شدن اثرات متقابل در مورد این نسبت باید به اثرات متقابل بین ماههای مختلف و هوادهی‌ها توجه شود.

جدول ۳-۳ تجزیه داده‌های مربوط به نسبت C/N

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۲	۲۸۹/۵۵۴	۱۴۴/۴۷۷	۲۴/۹۲۳**
ماه	۴	۲۳۱۱/۲۶۱	۵۷۷/۸۱۵	۹۹/۴۶۸**
هوادهی×ماه	۸	۲۲۴/۹۸۷	۲۸/۱۲۳	۴/۸۴۱**
خطا	۱۵	۸۷/۱۳۶	۵/۸۰۹	

جدول ۳-۳-۱ مقایسه میانگین‌های مختلف بین هوادهی‌ها و ماههای مختلف

اثرات متقابل	میانگین	اثرات متقابل	میانگین
شروع پروژه	۳۸/۰۲۵ ^d	ماه دوم×دبی ۰/۴ L/kg/min	۱۸/۴۷ ^{bc}
شروع پروژه	۳۷/۰۶۵ ^d	ماه اول×دبی ۰/۶ L/kg/min	۱۵/۴۷ ^{ab}
شروع پروژه	۳۵/۳۳ ^d	ماه دوم×دبی ۰/۶ L/kg/min	۱۲/۲۲ ^{ab}
ماه اول×دبی ۰/۹ L/kg/min	۲۳/۱۴ ^c	ماه سوم×دبی ۰/۴ L/kg/min	۱۱/۸۱ ^{ab}
ماه چهارم×دبی ۰/۹ L/kg/min	۲۱/۴۷ ^c	ماه سوم×دبی ۰/۶ L/kg/min	۱۰/۲۲ ^a
ماه سوم×دبی ۰/۹ L/kg/min	۲۰/۶۹ ^c	ماه چهارم×دبی ۰/۴ L/kg/min	۹/۸۱ ^a
ماه اول×دبی ۰/۴ L/kg/min	۲۰/۱۹ ^c	ماه چهارم×دبی L/kg/min ۰/۶	۵/۹۱ ^a
ماه دوم×دبی ۰/۹ L/kg/min	۱۹/۰۴ ^{bc}		

با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها در سطح ۰/۱ می‌توان نتیجه گرفت که هوادهی ۰/۶ L/kg/min در ماه

اول کاهش بیشتری را در نسبت C/N ایجاد کرده است. این نتیجه به خاطر تجزیه موثرتر کربن آلی در این نرخ

هوادهی بوده است. هر چند که کاهش میزان C/N در ماه اول نسبت به سایر ماهها در تمام نرخ های هوادهی بیشتر بوده است. ولی در نهایت هر دو هوادهی $0.4L/kg/min$ و $0.6L/kg/min$ در یک ماه یعنی ماه آخر به کمترین میزان خود رسیده‌اند حال آنکه هوادهی $0.9L/kg/min$ نتوانسته است در این مدت مشخص C/N را به حالت تکمیل برساند که علت آن فعالیت کم میکروارگانیسم‌ها به خاطر دمای پایین و خشک شدن توده می‌باشد.

۳-۵- روند تغییرات pH

pH نیز معمولا در مراحل تولید کمپوست افزایش می‌یابد و به حالت قلیایی می‌رسد. در یک سیستم تولید کمپوست موفق PH نهایتا بین ۸ تا ۹ خواهد بود. جدول تجزیه داده‌های مربوط به pH مطابق جدول مورد (۳-۴) است.

جدول ۳-۴ تجزیه داده‌های مربوط به pH

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۲/۳۲۸ ^{ns}
ماه	۴	۲۶/۳۲۱	۶/۵۸۰	۲۳۸۹/۹۲ ^{**}
هوادهی×ماه	۸	۰/۰۵۳	۰/۰۰۷	۲/۴۱۱ ^{ns}
خطا	۱۵	۰/۰۴۱	۰/۰۰۳	

در آنالیزهای صورت گرفته مشخص گردید که بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری وجود ندارد. ولی تفاوت معنی داری بین ماههای مختلف قابل مشاهده است.

با سطح اطمینان ۰.۱٪ می‌توان بیان نمود که افزایش میزان pH در ماههای اول با نرخ بیشتری نسبت به ماههای آخر افزایش پیدا کرده است که دلیل عمده آن معدنی شدن نیتروژن آلی و همچنین فرآیند آمونیفیکاسیون در ماههای اول می‌باشد. ولی نرخ افزایش آن در ماههای آخر با هم اختلاف معنی داری ندارند. دلیل آن علاوه بر کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های فعال در داخل توده می‌تواند به علت متصاعد شدن آمونیاک و همچنین فرآیند نیتریفیکاسیون باشد.

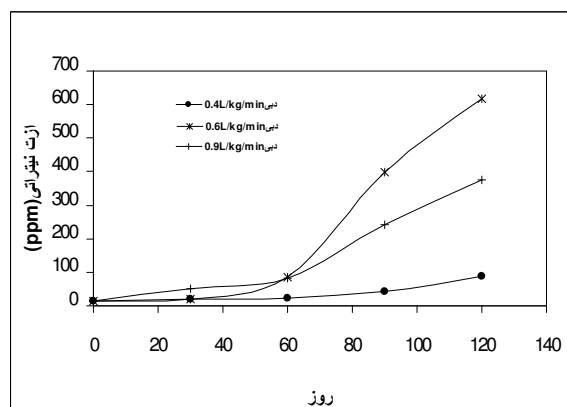
۳-۶- روند تغییرات ازت نیتراتی NO_3-N :

اهمیت ازت نیتراتی به خاطر سهل الوصول بودن جذب آن توسط گیاهان می باشد. تولید ازت نیتراتی بیشتر در مرحله تکمیل صورت می گیرد. برای تولید نیترات دو دسته باکتری فعالند که نوع اول نیتروسوموناس است که NH_4^+ را به NO_2^- تبدیل می کند و دسته بعدی باکتری های نیتروباکتر است که NO_2^- را به NO_3^- تبدیل می کند. باکتری های نیتریفیکاسیون دارای رشد آرامی هستند و در دمای بالاتر از ۴۰ درجه غیرفعال اند. بنابراین زمانی فعال می شوند که واکنش های تجزیه مواد زائد آلی تکمیل شده باشد. هر چند که NO_3^- دارای تلفات نیز می باشد ولی روند کلی آن به صورت افزایش است. اکثرا یک همبستگی مثبت بین ازت نیتراتی و پتاسیم وجود دارد. نتایج جدول تجزیه داده های مربوط به ازت نیتراتی در جدول (۳-۹) قابل مشاهده است.

جدول ۳-۵ تجزیه داده های مربوط به ازت نیتراتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۲	۱۷۲۷۱۸/۴۷	۸۶۵۳۹/۲۳	۱۳۸/۶۷ ^{**}
ماه	۴	۵۶۳۷۷۸/۸۰۰	۱۴۰۹۴۴/۷۰	۲۲۶/۳۲ ^{**}
هوادهی × ماه	۸	۲۱۵۸۶۴/۲۰۰	۲۶۹۸۳/۰۲۵	۴۳/۳۳ ^{**}
خطا	۱۵	۹۳۴۱/۵۰۰	۶۲۲/۷۶۷	

با توجه به نمودارها و جدول مقایسات میانگین می توان بیان نمود که نرخ هوادهی کمتر، $0.4L/kg/min$ نسبت به سایر نرخ های هوادهی در افزایش میزان ازت نیتراتی موثر نبوده است. دلیل عمده آن عدم فعالیت باکتری های نیتریفیکاسیون به خاطر دوره طولانی دماهای ترموفیلیک در این هوادهی بوده است. هوادهی $0.6L/kg/min$ در ماه آخر باعث افزایش بیشتری در میزان ازت نیتراتی شده است که احتمالا دلیل آن به خاطر میزان تلفات کمتر نسبت به سایر هوادهی ها می باشد چون در این حالت میزان تمرکز آمونیاک در توده بیشتر خواهد بود



شکل ۳-۴ نمودار تغییرات ازت نیتراتی در نرخ های هوادهی متفاوت

۳-۷- نتیجه گیری کلی:

هدف کلی از انجام این پایان نامه تعیین مناسبترین نرخ هوادهی در روش توده ثابت بود که بدین منظور شاخص هایی برای سنجش کیفیت کمپوست تولیدی استفاده شد و با توجه به تغییرات این شاخص ها که معیارهایی برای ارزیابی بودند هوادهی مناسب تعیین گردیده است.

در حالت کلی در تعیین میزان هوادهی مناسب باید به نکاتی توجه شود. نخست آنکه هوادهی به میزانی باشد که امکان فعالیت مناسب میکروارگانسیم ها را در طول دوره مشخص تولید فراهم سازد.

زیرا اگر نرخ هوادهی کم باشد از فعالیت میکروارگانسیم ها می کاهد، هوادهی بیش از اندازه نیز مشکل زاست زیرا منجر به سرد شدن پیش از موعد توده می گردد که این شرایط از غیر فعال سازی موثر پاتوژن ها جلوگیری می کند. نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد میزان مصرف انرژی است. هوادهی با نرخهای بالاتر نیازمند پمپ های قوی تر و به تبع آن مصرف انرژی بالاتری هستند.

با توجه به مطالب بیان شده نرخ مناسب هوادهی باید علاوه بر تضمین فعالیت مناسب میکروارگانسیم ها از نظر مصرف انرژی نیز بهینه باشد. با توجه به تغییرات پارامترهای مختلف در این تحقیق روش مناسب آن است که در دو ماه اول شروع پروژه که در برگیرنده فاز فعال می باشد از هوادهی 0.6 L/kg/min استفاده شود و در دو ماه بعدی نیز از هوادهی 0.4 L/kg/min استفاده شود که این شرایط باعث کاهش مصرف انرژی می گردد.

منابع:

- 1- Anonymous. 2005. Compost sampling for lab analysis. Woods End Research Laboratory.
- 2- Anonymous. 2003. Co-Composting of faecal sludge and municipal organic waste. International Waste Management Institute.
- 3- Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M., and Knight, W. 2002. Effect carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology*. 83: 189-194.
- 4- Garcia, A.J., Esteban, M.B., Marquez, M.C., and Ramos, P. 2005. Biodegradation of municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs. *Waste Management*.
- 5- Korner, I., Braukmeier, J., Herrenklage, J., Leikam, K., Ritzkowski, M., Schlegelmilch, M., and Stegmann, R. 2003. Investigation and optimization of composting processes test systems and practical examples. *Waste Management*. 23: 17-26.
- 6- Kulcu, R. and Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresource technology*. 93: 49-57.

- 7- Manios, T. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of crete. *Environmental International*. 29: 1079-1089.
- 8- Nickolas, J. and Young, H.K. 2002. Material and energy balances in a large scale aerobic bioconversion cell. *Waste Management and Research*. 20: 234-242.
- 9- Polprasert, C. 1996. *Organic waste recycling*. John Wiley and sons. Second edition. pp. 69-102.
- 10- Renkow, M., and Rubin, A.R. 1998. Does municipal solid waste composting make economic sense? *Environmental Management*. 53: 339-347.
- 11- Solano, M.L., Iriarte, F., Ciria, P., and Negro, M.J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. *J. agric. Engang Res*. 79(3): 317-329.
- 12- Stelmachowski, M., Jastrzebska, M., and Zarzycki, R. 2003. In-Vessel composting for utilizing of municipal sewage-Sludge. *Applied Energy*. 75: 249-256.
- 13- Ugwanyi, J.O., Harvey, L.M., and Mc Neil, B. 2005. effect of aeration rate and waste load on evaluation of volatile fatty acids and waste stabilization during termophilic digestion of a model high strength agriculture waste. *Bioresource Technology*. 96: 721-730.a