نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۱۲، سال ۱۴۰۰، صفحات ۵۵۰۳ تا ۵۵۱۶
DOI: 10.22060/ceej.2020.18861.6986

بررسی تاثیر هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی به روش خشک کردن بیولوژیکی

استیو مارکاریان[۱]، مریم عباسی[۱*]، مهدی جلیلی قاضی زاده[۲]

۱-دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

خلاصه: خشک کردن بیولوژیکی یکی از روش‌های پیش پردازش پسماند جهت کاهش رطوبت آن می‌باشد. پسماند شهری در کشورهای در حال توسعه به ویژه ایران به علت تفکیک از مبدا پسماند خشک و حجم بالای پسماند آلی دارای رطوبت بالا می باشد. رطوبت بالای پسماند شهری موجب مشکل شدن مدیریت این نوع پسماند، کاهش ارزش حرارتی، تولید شیرابه و سخت کردن روش‌های دفع و بازیافت می‌گردد. خشک شدن بیولوژیکی یک فرآیند خودکار حرارتی است که در آن میزان خشک شدن با گرمای بیولوژیکی آزاد شده در هنگام تجزیه مواد آلی در محل افزایش می‌یابد و موجب کاهش رطوبت ضمن حفظ کالری می‌شود. بنابراین، این روش می‌تواند به عنوان روش پیش پردازش پسماند آلی جهت تولید حرارت و تبدیل آن به ماده سوختنی با ارزش حرارتی بالا مورد استفاده قرار گیرد. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تاثیر هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی به روش خشک کردن بیولوژیکی پسماند آلی فسادپذیر می‌باشد. از این رو، یک سیستم نوین خشک کردن بیولوژیکی در مقیاس پایلوت برای پردازش پسماند جامد شهری طراحی شد. همچنین عوامل مهم و تاثیرگذار روی خشک کردن بیولوژیکی شامل میزان اختلاط، رطوبت، اندازه ذرات، زمان هوادهی، مقدار هوادهی و عامل حجیم مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، عملکرد پایلوت روی پسماند غذایی فسادپذیر تهیه شده از سلف سرویس مرکزی پردیس اصلی دانشگاه شهید بهشتی با دو نرخ هوادهی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که وزن، حجم و رطوبت پسماند کاهش قابل توجهی یافته و مقدار PH شیرابه پسماند در ۸/۳۵ تثبیت یافت. همچنین رطوبت به میزان زیادی کاهش به صورتی که در پایان دوره مرحله اول برابر با ۲۵/۱۰ و مرحله دوم برابر با ۲۱/۸۰ باقی مانده است و جامدات فرار افزایش یافته است. وزن نهایی پسماند برابر با ۶/۸۶ کیلوگرم رسید و در نتیجه هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی فسادپذیر به روش خشک کردن بیولوژیکی یک روش پایدار برای کاهش رطوبت پسماند می‌باشد..

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹

کلمات کلیدی:
هوادهی
خشک کردن بیولوژیکی
کاهش رطوبت
پسماند غذایی

۱- مقدمه

در حال حاضر مدیریت پسماندهای جامد شهری[1] یکی از معضلات جهانی است که علت اصلی آن شهرنشینی سریع و به دنبال آن توسعه فعالیت ساخت و سازهای صنعتی می‌باشد. فناوری تبدیل پسماند به انرژی[2] این پتانسیل را دارد که بسته به ترکیب با بازیابی انرژی، حجم پسماندهای اصلی را ۹۰٪ کاهش دهد. اما بازده انرژی خالص از پسماند به فرآیندهای تبدیل انرژی به چگالی، ترکیب و درصد نسبی رطوبت پسماند بستگی دارد [۱].

افزایش تولید پسماندهای جامد شهری، کاهش ظرفیت دفن پسماند، افزایش هزینه‌های مدیریت پسماند، تأسیسات مدیریت مخالفت عمومی سه مرحله و نگرانی از خطرات مرتبط با مدیریت پسماند، منجر به مفهوم مدیریت یکپارچه پسماند شده است. در کشورهای در حال توسعه، افزایش روزافزون پسماندهای آلی یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی است. مدیریت غیراصولی پسماندهای آلی، مشکلات زیست محیطی و بهداشتی نظیر انتقال بیماری، خطر آتش سوزی، مزاحمت بو، مزاحمت زیبایی، آلودگی هوا، آلودگی آب و خسارات اقتصادی و غیره به دلیل سوء مدیریت پسماندهای جامد ایجاد می‌نمایند. مدیریت پسماندهای آلی به دلیل فقر، انفجار جمعیت، شهرنشینی و نبود بودجه بسیار مشکل است. برخی از روش‌های دفع پسماند مانند سوزاندن، دفن پسماند، تولید بیوگاز و غیره وجود دارد که کارآمد هستند اما تأثیرات منفی بر محیط زیست و همچنین بهداشت عمومی دارد [۲].

1 Municipal solid waste
2 Waste Technology Energy

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mary_abbasi@sbu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

فرآیندهای تجزیه بی‌هوازی و هوازی منجر به تغییر در کیفیت کربن می‌شود، زیرا کربوهیدرات‌های قابل هضم آسان‌تر و سریع‌تر تجزیه می‌شوند. روش هوادهی در حال حاضر در سایر کشورها به ویژه در آلمان در حال بهره‌برداری و به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. مزایای اصلی این روش کاهش آلودگی شیرابه، به طور عمده به شکل آمونیوم و تقاضای اکسیژن شیمیایی[1] و همچنین کاهش پتانسیل تولید متان[2] باقی مانده است. با این وجود هوادهی در محل دفن پسماند عوارض جانبی منفی مانند افزایش انتشار CO_2 از طریق فعالیت میکروبی تسریع شده یا افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای قوی را نشان می‌دهد [۴].

با توسعه و افزایش رفاه در شهرها و نیاز انسان به مواد مصرفی، در نتیجه تولید مواد زائد که به عنوان یکی از عوامل آلودگی محیط زیست روز به روز افزایش می‌یابد. پردازش پسماند پیش از دفع منجر به سهولت و کاهش هزینه‌های جمع آوری و دفع می‌گردد. کاهش رطوبت پسماند یکی از روش‌های پردازش پسماند جهت کاهش حجم، افزایش ارزش حرارتی، کاهش تماس با محیط زیست از طریق کاهش شیرابه می‌باشد [۵].

خشک شدن بیولوژیکی یک فرایند خودکار حرارتی است که در آن میزان خشک شدن با گرمای بیولوژیکی آزاد شده در هنگام تجزیه مواد آلی در محل افزایش می‌یابد. بنابراین جایگزین مناسبی برای مدیریت پسماند از نظر امکان سنجی و هزینه پیشنهاد می‌شود. خشک کردن بیولوژیکی باعث کاهش رطوبت ضمن حفظ کالری می‌شود [۶]. رطوبت بالای فرآیند خشک کردن بیولوژیکی می‌تواند برای پردازش پسماندهای جامد شهری حاوی بخش زیادی از ترکیبات آلی مفید باشد، زیرا رطوبت زیاد مواد آلی باعث افزایش رطوبت کل ماتریس پسماند شهری می‌شود. استفاده از خشک کردن بیولوژیکی روش مناسبی برای تصفیه پسماندهای شهری می‌باشد. که در صورت سوختن پسماند مستقیم و بدون هیچ گونه پردازشی مقدار زیادی شیرابه را آزاد می‌کند [۱].

دفن گاز پسماند تقریباً چهل تا شصت درصد متان (CH_4)، و باقی مانده آن اکثراً دی اکسید کربن است. در صورت عدم جمع آوری و پردازش، انتشارات دفن پسماندهای متان هر دو یک خطر احتمال انفجار [۷] و یک تهدید زیست محیطی شدید را نشان می‌دهد زیرا CH_4 یک گاز گلخانه‌ای قدرتمند است. خشک کردن زیستی یک رویکرد MBT (پردازش بیولوژیکی مکانیکی) است که از واکنش پذیری بیولوژیکی پسماند به منظور تولید ماده‌ای با درجه حرارت پایین‌تر به دلیل کاهش رطوبت می‌باشد. این مواد را می‌توان به عنوان یک سوخت بازیافت شده جامد[3] در نظر گرفت که با استفاده از آن می‌توان برای تولید انرژی در نیروگاه‌های صنعتی استفاده کرد. از مهم‌ترین مزایای فرآیند خشک کردن زیستی می‌توان به کاهش جرم پسماند، کاهش CH_4، CO_2، SO_2 انتشار NOx و جلوگیری از انتشار گرد و غبار از شبکه‌های پسماند به داخل جو اشاره کرد [۶].

محتوای آب پسماندهای جامد شهری عامل بسیار مهمی است که بر راندمان احتراق و از این رو در فرآیندهای تبدیل انرژی به پسماند تأثیر می‌گذارد [۷]. از دست دادن ۵۰٪ رطوبت در یک مطالعه مقیاس آزمایشگاهی انجام شده بر روی ۲۴۰ dm^3 راکتور با استفاده از کسری آلی پسماندهای جامد شهری و مواد ساختاری گیاهی با رطوبت بالا گزارش شده است [۸]. در فرآیند تجزیه زیستی، حدود ۶۳٪ تلفات در وزن کسری آلی به دست می‌آید، زیرا جرم زیستی خشک را می‌توان برابر با ۳۷٪ از درصد ماده آلی در نظر گرفت [۱۰ و ۹]. محتوای رطوبت اولیه به عنوان یک پارامتر مهم در فرآیند تجزیه بیولوژیکی شناخته می‌شود زیرا بر واکنش‌های بیوشیمیایی مرتبط با رشد میکروبی و تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در طی فرآیند تأثیر می‌گذارد. بهینه سازی فرآیند خشک کردن بیولوژیکی ضروری است زیرا درجه حرارت بالا در فرآیند بیودیزاسیون منجر به افزایش واکنش‌های متابولیکی میکروب‌ها می‌شود، اما انتشار آهسته اکسیژن در آب اطراف میکروارگانیسم‌ها کاهش می‌یابد [۱۱]. لذا با توجه به مطالب گفته شده و اهمیت تاثیر هوادهی در بایودراییینگ در مقاله حاضر به بررسی تاثیر هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی به روش خشک کردن بیولوژیکی خواهیم پرداخت. از همین رو یک سیستم خشک کردن بیولوژیکی در مقیاس پایلوت نوآورانه برای تصفیه ضایعات جامد شهری طراحی شده است.

ایسارا و همکاران [۱۲] طی پژوهشی یه بررسی تعیین تأثیر هوا در تخریب مواد زائد مواد غذایی با استفاده از بیوراکتورهای کمپوست با هوادهی غیرفعال متفاوت پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که میزان بهینه هوا برای کمپوست ۴/۳ درصد از حجم بیوراکتور یا ۴ لوله است. زمان کمپوست ۹ روز با بالاترین دما ۵۸–۵۹ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت به طور مداوم به مدت ۱۸ روز مورد آزمایش قرار گرفت. تجزیه و پالایش زباله‌های آلی طی ۳۰ روز به طول انجامید، با یک مقدار GI بین ۸۵٪ و کیفیت خروجی کود مطابق با استاندارد کمپوست تایلند. مهم‌ترین ماده معدنی کمپوست N، P و K بود که به ترتیب نتایجی برابر با ۱/۵۷٪، ۰/۸۷٪ و ۰/۷۵٪ را نشان داد. از نظر آماری تفاوت معنی داری بین خروجی‌های حاصل از کمپوست با و بدون افزودن PD ۲ وجود نداشت [۱۲].

1 COD
2 CH4
3 SRF

زامان و همکاران [۱۳] طی پژوهشی که در مورد فرآیند خشک کردن بیولوژیکی انجام داده‌اند دریافتند که گرمای تولید شده از فرآیند تجزیه هوازی ترکیبات ارگانیک همراه با هوا به دفع زباله‌ها کمک می‌کند. نتیجه پردازش با استفاده از زیست خشک کردن می‌تواند به عنوان سوخت حاصل از زباله (RDF) استفاده شود و این سوخت تولید شده از انواع مختلف زباله‌های جامد می‌باشد. RDF می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای زغال سنگ مورد استفاده قرار گیرد. از نتایج به دست آمده از پژوهش در می‌یابیم که پردازش زباله‌های جامد با استفاده از تکنولوژی زیست خشک کردن می‌تواند در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر را به عنوان سوخت زباله (RDF)، کاهش میزان آب زباله‌های جامد، بهبود کیفیت و افزایش میزان ضایعات جامد بازیافت شده مفید باشد. فن آوری بیوشیمی قادر به افزایش تجزیه جزئی و هیدرولیز ترکیبات آلی ماکرومولکول می‌باشد. کاربرد زیست خشک کردن می‌تواند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و دی نیترواکسید (N_2O) باشد [۱۳].

مارلنا و همکاران [۱۴] طی پژوهشی با هدف جداسازی بیرونی، اساسا با هدف حذف مواد زائد آلی از طریق تبخیر آب موجود در زباله است. با این حال، در بعضی موارد، لوله اتصال می‌تواند در فرآیندهای زیست خشک کردن ایجاد شود. این محلول ممکن است حاوی ترکیبات مختلف بوی نامطبوع، آمونیوم، نیترات و اسیدهای آلی باشد، که قبل از تخلیه به آب، نیاز به مدیریت مناسب دارد. با توجه به اهمیت فعالیت‌های میکروبی در زیست خشک کردن، جوامع باکتری در حال بررسی گسترده، اما مطالعات جامع در مورد باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و قارچ‌ها هنوز هم مورد نیاز است، زیرا همه این میکروارگانیسم‌ها در تجزیه ارگانیزم شرکت دارند. در محصولات زیست خشک شده، غلظت فلزات سنگین افزایش می‌یابد و در سوخت و ساز بعدی آن، کسر خاکستر ممکن است توسط فلزات سنگین آلوده شود. برای کاهش خطرات بهداشتی و اثرات زیست محیطی، گازهای خروجی پلنت‌های زیست خشک کردن باید به درستی مدیریت شوند زیرا اکسیدهای آلاینده، آمونیاک، بیوفیزیک، ذرات ریز و مواد به وجود آمده در گاز خروجی یافت می‌شوند [۱۴].

دبیکا[1] و همکاران [۱۵] در پژوهش خود نمونه‌های اولیه ضایعات جامد شهری را مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی این کار تجزیه و تحلیل اثربخشی فرآیند بیولوژیکی MSW در راکتور کامل مقیاس با توجه به درجه تجزیه بیولوژیکی مواد آلی و خواص سوخت آن است. نتایج نشان داد ارزیابی کار یک راکتور کامل زیست زیستی با مقایسه مقادیر LOI، AT ۴ و TOC با معیارهای داده شده برای کارخانه MBT انجام شد. فعالیت تنفسی قطعه ۰–۲۰ میلی متر بعد از بیدار شدن بیش از حد محدود ۱۰ میلی‌گرم O_2 / g dm در ماه‌های سپتامبر و ژانویه بود. با این حال، مقدار LOI و TOC پایین‌تر از آن محدود شده در الزامات قانون است، به این معنی: کمتر از ۳۵٪ d.m. و کمتر از ۲۰٪ d.m. به ترتیب. به طور خلاصه، فرآیند MBT برای قطعه ۰–۲۰ میلی‌متر، برای آزمایشگاه تخلیه‌ای که انتظار می‌رود، می بایست با توجه به معیارهای کنونی موجود موجود پذیرفته شود. برای قطعه ۲۰–۸۰ میلی‌متر پس از مرحله زیستی سطوح AT ۴ در ماه‌های جولای، سپتامبر و ژانویه بیش از حد بود اما مقدار LOI و TOC مورد نیاز در این ماه‌ها را برآورده می‌کند. این اجازه می‌دهد تا ما نتیجه‌گیری کنیم که کسر ۲۰–۸۰ میلی‌متر مورد بررسی در نصب MBT به درستی انجام شده است [۱۵].

کای[2] و همکاران [۱۶] در پژوهش خود بررسی نمودند که از بین بردن، یک راه جایگزین برای درمان زباله‌های زیست توده، یک روش صرفه جویی اقتصادی و صرفه جویی در انرژی است که از مواد زائد با استفاده از گرمای میکروبی ناشی از تخریب مواد آلایشی، که بر مبنای فرآیند شبیه به کمپوست است، حذف می‌شود. کاهش رطوبت در طول زیست خشک کردن است. نتایج نشان داد که حذف آب در اولین فاز ترموفیلیک ۶۲ درصد از کل حذف آب را به خود اختصاص داد. در مرحله دوم فاز ترموفیلیک، حذف آب ۲۸٪ بیشتر بود. Biodrying یک ساختار لجن توخالی و طبقه بندی شده با لبه‌های نرم‌تر ایجاد می‌کند، پروتئین‌های معطر و پروتئین‌های میکروبی محلول در EPS را تجزیه می‌کند و آب مرطوب را به آب آزاد می‌کند. اصلاح ساختار، تبدیل EPS و آزاد شدن آب، حذف آب را در طی فرآیند برداشت را تسهیل می‌کند [۱۶]. مطالعات محدودی در رابطه با خشک کردن بیولوژیکی پسماند غذایی و پارامترهای موثر در این فرآیند وجود دارد. هدف از این مطالعه بررسی عملکرد فرآیند خشک شدن بیولوژیکی در کاهش رطوبت پسماند غذایی و تاثیر نرخ هوادهی در تسریع فرآیند خشک کردن می‌باشد.

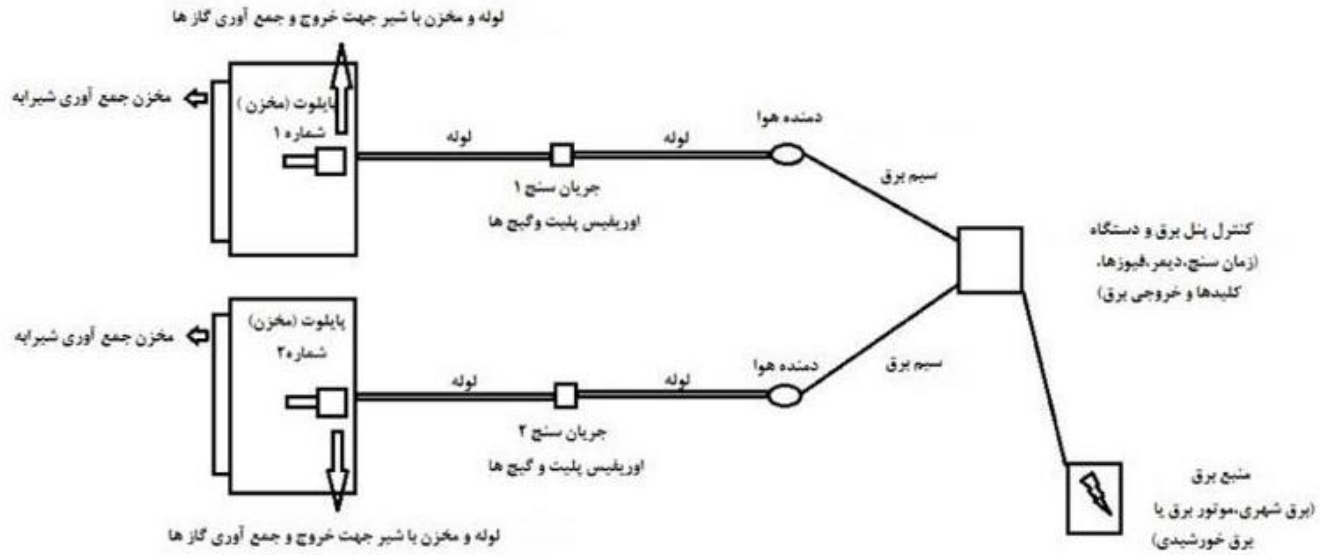
۲- مواد و روش‌ها

مواد و مصالح مورد استفاده در طرح و ساخت پایلوت آزمایشگاهی به منظور پردازش پسماند آلی فسادپذیر جهت خشک کردن بیولوژیکی از پایلوت استفاده شد. جهت ساخت بدنه اصلی پایلوت از ورق های پی وی سی[3] با روکش رنگی هایگلس مقاوم استفاده گردیده است که علت مهم

1 Debicka

2 Cai

3 P.V.C



شکل ۱. دیاگرام پردازش پسماند آلی فسادپذیر جهت کاهش رطوبت به روش خشک کردن بیولوژیکی

Fig. 1.Diagram of biodegradable organic waste preprocessing for moisture reduction using biodrying

انتخاب این متریال مقاومت قابل قبول آن در برابر خوردگی ناشی از گازهای متصاعد شده احتمالی از پسماند مورد پردازش و همچنین مقاومت و عدم نفوذپذیری در مواجهه با رطوبت و شیرابه تولیدی از پسماند می باشد. جهت باز و بسته شدن بهتر و ایمنتر یونیت ها از بست های کابینتی ضد زنگ به تعداد سه عدد برای هر یونیت و دو عدد جک هیدرولیکی بهره گرفته شده و جهت حفظ ویژگی عایق بودن از درزگیرهای پلی اتیلنی دو لایه چسب‌دار در محل درها استفاده شده است، همچنین دستگیره های فلزی جهت باز و بسته شدن وجه فوقانی بر روی آن تعبیه شده که جهت اتصال آنها از پیچ های فولادی استفاده شده است.

از آن جایی که استفاده از روش بیولوژیکی صرف جهت پردازش پسماند بسیار زمانبر و عملا تا حدودی غیر اقتصادی است در طرح و ساخت پایلوت آزمایشگاهی از روش مکانیکی نیز تا حدی استفاده گردیده است و در این مورد خاص از دمنده هوا معروف به دم[1] بهره گرفته شده است که مهم‌ترین امتیاز آن سادگی مکانیزم داخلی، در دسترس بودن و مصرف انرژی پایین است. دمنده هوای مورد استفاده از نوع برقی (تک فاز) با توان اسمی ۱۲۰ وات (W) و جریان مصرفی ۱/۶ آمپر (A) است که قابلیت استفاده از برق شهری را دارا می باشد علاوه بر آن جهت تنظیم زمانبندی و دوره های (پریودهای) هوادهی از تایمر[2] ۲۴ ساعته دستی با دقت تنظیم ۱۵ دقیقه و جهت قطع و برقراری مجدد جریان برق از کلیدهای مینیاتوری و فیوز مجزا بهره گرفته شده است، در مورد انتقال جریان هوا از دمنده به فضای داخلی یونیت از لوله پی وی سی (پلیکا) با تحمل فشار نیمه قوی استفاده شده، در محل ورودی به یونیت جهت توزیع یکنواخت تر و بهتر جریان هوا از لوله اصلی به کمک سه راهی، انشعاب به قطر لوله اصلی ایجاد و به قسمت تحتانی از وجه پشتی یونیت وارد شده که محل اتصال با ماستیک کاملا عایق گردیده است. به منظور اندازه‌گیری جریان هوای ورودی از دمنده به یونیت از گیج‌های صفحه ۱۰ سانتی‌متری با محدوده[3] صفر تا ۱۰ میلی بار و بدنه تمام استیل با پایه برنجی و اتصالات پلی اتیلنی و پی وی سی (پلیکا) رزوه دار نیم یا یک دوم اینچی بهره گرفته شده است. در ادامه نحوه اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی بیان شده است.

1 BLOWER

2 TIMER

3 RANGE

درصد رطوبت پسماند

جهت تعیین درصد رطوبت از روش خشک کردن به وسیله اون که بسیار دقیق‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد و همچنین یک مرحله از آماده سازی نمونه‌ها برای آنالیزهای بعدی است استفاده شد، در این روش مقدار مشخصی از نمونه را ابتدا در یک ترازو با دقت حداقل یک دهم کیلوگرم وزن می‌کنیم و آن را در آون در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد از ۲۴ ساعت آن را از اون خارج نموده و در دسیکاتور قرار می‌دهیم تا سرد شود. بدین ترتیب پس از توزین، اختلاف وزن نشان دهنده میزان رطوبت است.

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی، قابلیت یک نمونه را در هدایت جریان الکتریسیته به صورت عدد نشان می‌دهد. در این آزمایش ۱۰ گرم نمونه را با ۹۰ سی سی آب مقطر مخلوط می‌نماییم و به مدت ۳۰ دقیقه به هم می‌زنیم، نمونه‌ها را صاف نموده و پس از گذشت ۱۰ دقیقه میزان EC را توسط هدایت سنج متر دیجیتالی اندازه گرفته شد.

میزان خاکستر و جامدات فرار

ظرف خالی را به مدت ۱۵ دقیقه در کوره ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از سرد شدن ۲ گرم از نمونه خشک شده را در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در کوره در حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود. در نهایت نمونه را در یک دسیکاتور سرد نموده و با ترازوی دقت یک دهم میلی‌گرم وزن شد. تفاوت به دست آمده نشان دهنده مقدار خاکستر و جامدات فرار (VS) خواهد بود.

pH

در ابتدا یک قسمت از نمونه را با ۵ قسمت آب مقطر (۵۰ گرم نمونه در۲۵۰ سی سی آب مقطر) به مدت ۴۵ دقیقه با استفاده از میکسر مخلوط نموده و پس از گذشت ۱۰ دقیقه با استفاده از دستگاه pH متر، مقدار pH را قرائت می‌شود.

کل کربن آلی

TOC نمونه‌ها توسط دستگاه TOC آنالایزر بر اساس برنامه NPOC (Non- Purgeable Organic Carbon) سنجش شد.

پسماند مورد آزمایش

جهت تعیین نوع پسماند آلی ابتدا پسماند تولیدی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. در شهر تهران روزانه متجاوز از شش هزار تن پسماند شهری تولید می شود، که قسمت اعظم آن را پسماندهای فسادپذیر با منشا گیاهی یا حیوانی تشکیل می دهد. ترکیب پسماندهای شهری در این مرحله با کشورهای صنعتی تفاوت های زیادی را نشان می‌دهد، بر اساس مطالعات وزارت کشور در سال ۱۳۷۴، تولید روزانه پسماند خانگی برای هر شهروند ۸۰۰ گرم، پسماند بیمارستانی ۱۷ گرم و پسماندهای صنعتی شهر ۲۶ گرم است [۱۲]. جدول زیر میانگین درصد اجزای تشکیل دهنده پسماندهای شهری کشور را در سال ۱۳۷۴ نشان می دهد.

با توجه به اینکه بخش عمده پسماند آلی در کشور پسماند غذایی است. پسماند مورد استفاده در این مطالعه از نوع پسماند غذایی آلی فسادپذیر است. درصد رطوبت این نوع پسماند بیشتر از پسماندهای عادی جامد شهری است و در مورد ارزش حرارتی پسماند فسادپذیر به دلیل رطوبت بالا ارزش حرارتی کمتری نسبت به سایر انواع پسماند را دارا می باشد.

جدول ۱. میانگین درصد اجزای تشکیل دهنده پسماند های شهری کشور در سال ۱۳۷۴

Table 1. Average of Iran municipal waste composition percentage in 1994

اجزا	درصد
مواد فسادپذیر	۶۲/۶۴
کاغذ	۱۰/۹۲
پلاستیک	۱۰/۲۸
فلز	۳/۲۴
شیشه	۴/۲۴
پارچه	۴/۰۸
چوب	۵/۵۲

جدول ۲. ترکیب پسماند غذایی مورد استفاده در تحقیق

Table 2. Food waste composition used in the study

وزن پسماند	ناخالص	تجزیه ناپذیر	خالص
	۴۵/۰۰۰	۸/۷۵۰	۳۶/۲۵۰

کمیت پسماند مورد استفاده

طبق محاسبات انجام گرفته و با توجه به دانسیته پسماند جهت هر یک از یونیتهای پایلوت آزمایشگاهی نیاز به حدود ۲۵ کیلوگرم پسماند است که جمعا این مقدار برای هر مرتبه آنالیز و اندازهگیری دادهها طی بازههای زمانی معین به حدود ۵۰ کیلوگرم میرسد. برای طرح آزمایش جهت پردازش پسماند به روش خشک کردن بیولوژیکی باید عوامل مهم و تاثیرگذار را با متغیرهای تعیینکننده در نظر گرفت، از جمله این عوامل و متغیرهای کلیدی میتوان به میزان اختلاط[1]، رطوبت[2]، اندازه ذرات[3]، زمان هوادهی[4]، مقدار هوادهی[5]، عامل حجیم[6] و ... اشاره کرد. با توجه به اهمیت موارد فوق، اقدام به انجام ۲ مرحله[7] برای پوشش دادن همه موارد فوق گردید که شامل مرحلههای ذیل است:

مرحله اول و دوم با پسماند غذایی فسادپذیر تهیه شده از سلف سرویس مرکزی پردیس اصلی دانشگاه شهید بهشتی (فاقد مواد غیر قابل تجزیه از طریق جداسازی) و با مقدار هوادهی متفاوت در دو دستگاه (پایلوت) جداگانه انجام شد، همچنین وزن پسماند غذایی استفاده شده به شرح جدول ۲ میباشد.

۳- نتایج و بحث

هدف از انجام این آزمایش بررسی تاثیر هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی برای خشک کردن بیولوژیکی پسماند حاصل از پسماند غذایی فسادپذیر (فاقد مواد غیر قابل تجزیه از طریق جداسازی) و با مقدار هوادهی متفاوت در دو دستگاه (پایلوت) جداگانه انجام شده است که نتایج ذیل به دست آمده است. در این مرحله آزمایشات انجام شده شامل دو مرحله (مرحله اول: با چهار حفره هوادهی به مقدار ۴ میلی بار در ثانیه[8] ، مرحله دوم: با دو حفره هوادهی به مقدار ۳ میلی بار در ثانیه) با یک نوع پسماند میباشد که نتایج آنها به صورت جزئی در هر سبد با ارائه خروجیهای مرتبط با پارامترهای اندازهگیری شده در هر آزمایش بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این آزمایش با توجه به توان دمنده نرخ بهینه تعیین گردیده است. لازم به ذکر است این نرخ در انواع مختلف دمنده متفاوت میباشد. آزمایش انجام شده در مدت ۴۱ روز و در محل گلخانه مرکزی دانشگاه شهید بهشتی انجام گرفته است. محیط پایلوت در زمان هوادهی کاملا ایزوله بوده و هیچ گونه ورود و خروج هوا در زمان انجام فرآیند صورت نگرفته است. میزان هوادهی توسط بردی که به دستگاه متصل بوده تنظیم گردیده است. هوادهی در این آزمایش بر اساس مطالعات پیشین ۱۵ دقیقه در هر ۲ ساعت صورت گرفته است. پارامترهای مورد نظر برای این آزمایش، دمای راکتور، دمای محیط و رطوبت پسماند مورد مطالعه بوده که روزانه مورد سنجش قرار گرفته است.

- **درجه حرارت و رطوبت**

در این مرحله میزان درجه حرارت و رطوبت داخل و بیرون پایلوت برای هر روز مورد بررسی قرار گرفته است.

در این مرحله نیز میزان درجه حرارت و رطوبت داخل و خارج هر مرحله (پایلوت) نشان میدهد که در مرحله اول و دوم میزان حرارت و رطوبت برای هر دو به صورت یکسان بوده است.

- **درصد رطوبت**

درصد رطوبت پسماند در هر سه سبد از دو پایلوت مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات مربوط به هر یک در جدول ۵ قابل مشاهده میباشد.

1 Mixing Ratio
2 Moisture Content
3 Size
4 Aeration Time
5 Aeration flow
6 Bulking Agent
7 Run
8 Milibar second

جدول ۳. درجه حرارت و رطوبت داخل و بیرون پایلوت مرحله اول

Table 3. Indoor and outdoor temperature and moisture of pilot in the first stage

مرحله اول	درجه حرارت		رطوبت	
	داخل (درجه سانتی‌گراد)	بیرون (درجه سانتی‌گراد)	داخل (درصد)	بیرون (درصد)
روز اول	۵/۶	۶	۷۵	۶۱
روز هفتم	۸/۵	۵/۸	۵۶	۵۵
روز چهاردهم	۱۴	۱۱/۷	۷۱	۵۵
روز هجدهم	۱۶/۲	۱۱/۴	۷۸	۵۴
روز بیست و پنجم	۹	۸/۲	۷۵	۵۰
روز سی و دوم	۶	۶/۳	۷۰	۴۱

جدول ۴. درجه حرارت و رطوبت داخل و بیرون پایلوت مرحله دوم

Table 4. Indoor and outdoor temperature and moisture of pilot in the second stage

مرحله دوم	درجه حرارت		رطوبت	
	داخل (درجه سانتی‌گراد)	بیرون (درجه سانتی‌گراد)	داخل (درصد)	بیرون (درصد)
روز اول	۵/۵	۶	۷۲	۶۱
روز هفتم	۸/۵	۵/۸	۵۶	۵۵
روز چهاردهم	۱۴	۱۱/۷	۷۱	۵۵
روز هجدهم	۱۶/۲	۱۱/۴	۷۸	۵۴
روز بیست و پنجم	۹	۸/۲	۷۵	۵۰
روز سی و دوم	۶	۶/۳	۷۰	۴۱

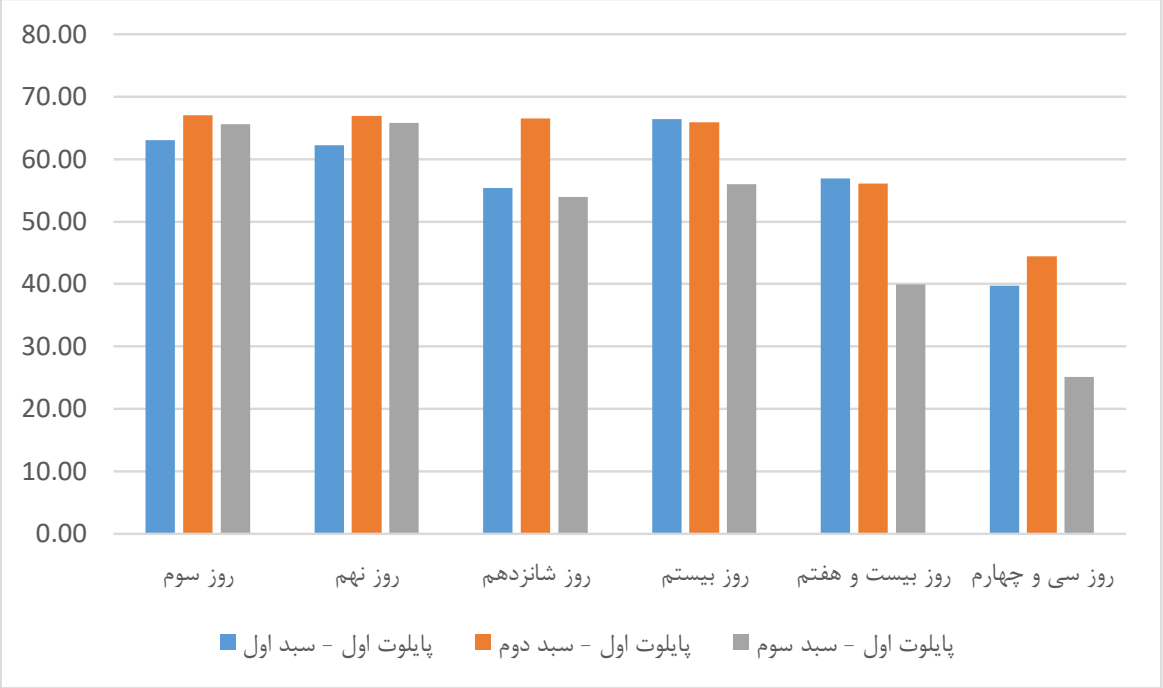
جدول ۵. درصد رطوبت پسماند در هر سه سبد از دو پایلوت

Table 5. Food waste composition used in the study

روز دوره	مرحله اول			مرحله دوم		
	پایلوت اول _سبد اول (درصد)	پایلوت اول _سبد دوم (درصد)	پایلوت اول _سبد سوم (درصد)	پایلوت دوم_سبد اول (درصد)	پایلوت دوم_سبد دوم (درصد)	پایلوت دوم_سبد سوم (درصد)
روز اول	۶۷/۹۰	۶۷/۵۰	۶۸/۵۰	۶۵/۳۰	۶۲/۳۰	۶۷/۶۰
روز سوم	۶۳/۰۰	۶۷/۰۰	۶۵/۶۰	۶۵/۴۰	۶۷/۳۰	۶۴/۴۰
روز ششم	۶۶/۸۰	۶۶/۵۰	۵۸/۴۰	۶۷/۲۰	۶۷/۸۰	۶۶/۹۰
روز هشتم	۶۴/۲۰	۶۵/۸۰	۶۴/۳۰	۶۶/۸۰	۶۵/۷۰	۶۴/۳۰
روز نهم	۶۲/۲۰	۶۶/۹۰	۶۵/۸۰	۶۵/۵۰	۶۷/۸۰	۶۶/۲۰
روز دهم	۶۶/۹۰	۶۹/۳۰	۷۰/۴۰	۶۹/۳۰	۶۸/۶۰	۶۷/۷۰
روز شانزدهم	۵۵/۴۰	۶۶/۵۰	۵۳/۹۰	۶۸/۹۰	۷۰/۳۰	۶۱/۴۰
روز بیستم	۶۶/۴۰	۶۵/۹۰	۵۶/۰۰	۶۷/۵۰	۶۶/۶۰	۴۵/۷۰
روز بیست و سوم	۵۷/۵۰	۵۹/۶۰	۵۲/۱۰	۶۸/۶۰	۶۰/۹۰	۳۹/۰۰
روز بیست و هفتم	۵۶/۹۰	۵۶/۱۰	۳۹/۹۰	۶۷/۲۰	۶۵/۴۰	۳۹/۸۰
روز سی و چهارم	۳۹/۷۰	۴۴/۴۰	۲۵/۱۰	۵۵/۷۰	۴۷/۱۰	۲۱/۸۰

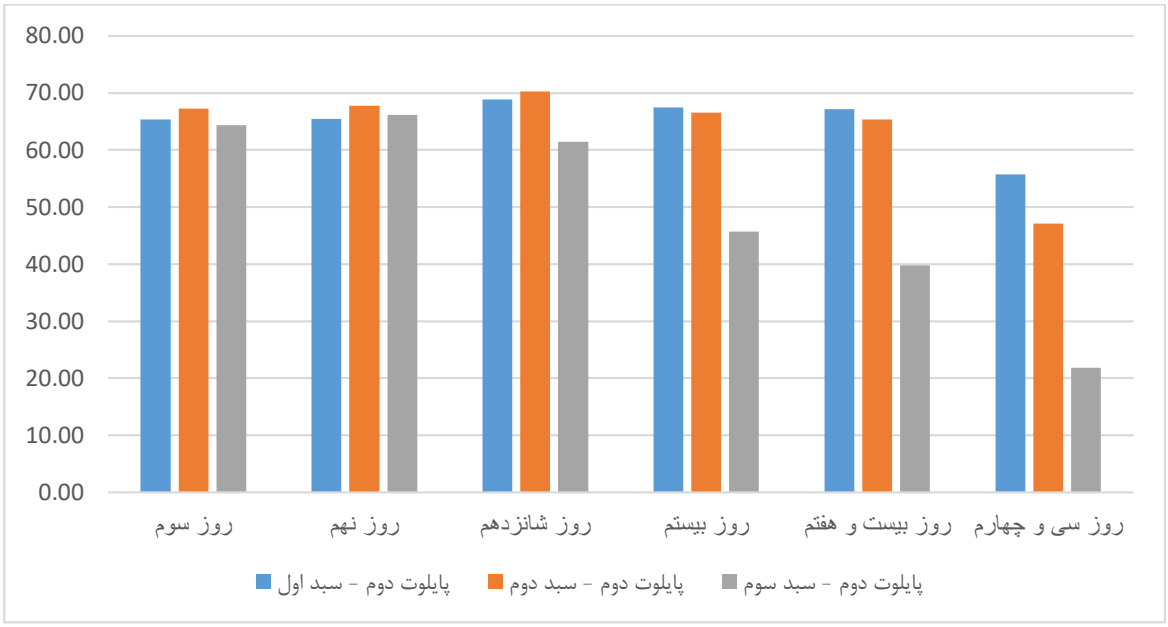
نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در هر دو مرحله فرایند هوادهی به مدت چهل و یک روز انجام شده است. در مرحله اول درصد رطوبت در ابتدا برای هر سه سبد حدود ۶۸٪ می‌باشد. که در دوره‌های بعدی تا روز نهم روند تقریبا ثابتی داشته است در زمان دهم اندکی میزان رطوبت افزایش یافته و پس از آن تا انتهای دوره روندی کاهشی داشته است. روند کاهشی رطوبت برای سبد سوم بیشتر از دو سبد دیگر است که علت آن مجاورت سبد سوم در نزدیکی حفره‌های دمنده می‌باشد. همچنین سبد اول نیز بیشتر از سبد دوم کاهش رطوبت داشته که علت آن قرار گرفتن سبد دوم در میان سبد اول و سوم و عدم تماس مستقیم با هوا می‌باشد.

در مرحله دوم درصد رطوبت در ابتدا برای هر سه سبد بین ۶۰ تا ۷۰ درصد است که در دوره‌های بعدی رطوبت مربوط به سبدهای اول و دوم روند تقریبا ثابتی دارند و تنها در دوره آخر اندکی کاهش می‌یابند اما در مورد سبد سوم از روز شانزدهم به بعد روند کاهشی شدید داشته است که علت آن نیز مانند مرحله قبل به دلیل مجاورت سبد سوم در نزدیکی حفره‌های دمنده می‌باشد.



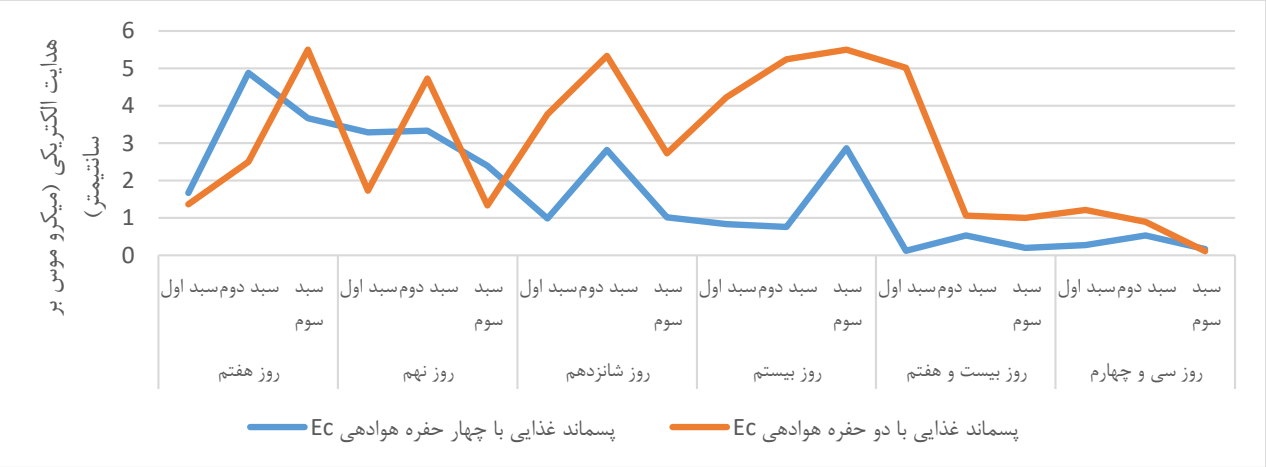
شکل ۲. درصد رطوبت مرحله اول

Fig. 2. moisture content in the stage 1



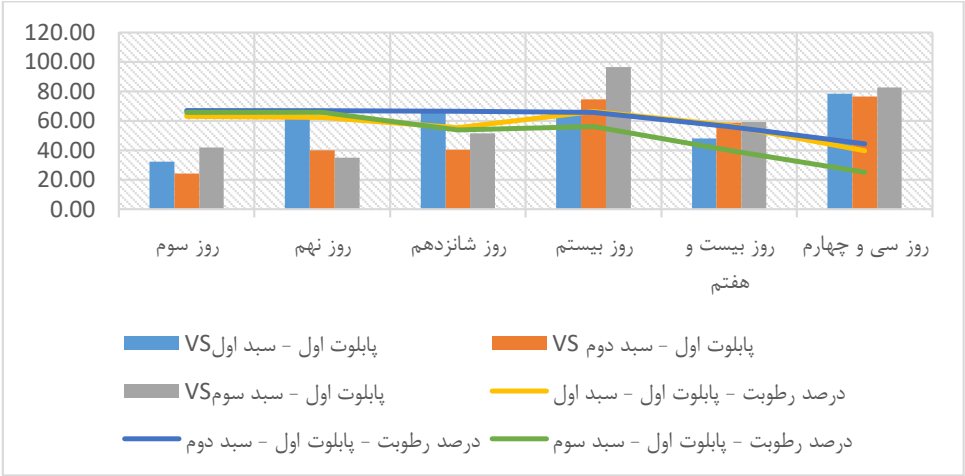
شکل ۳. درصد رطوبت مرحله دوم

Fig. 3. moisture content in the stage 2



شکل ۴. نتایج EC در مرحله اول و دوم

Fig. 4. EC results in the stages 1 and 2



شکل ۵. مقایسه درصد رطوبت و VS در مرحله اول

Fig. 5. Comparison of moisture content and VS in the stage 1

- **میزان روزانه هدایت الکتریکی**

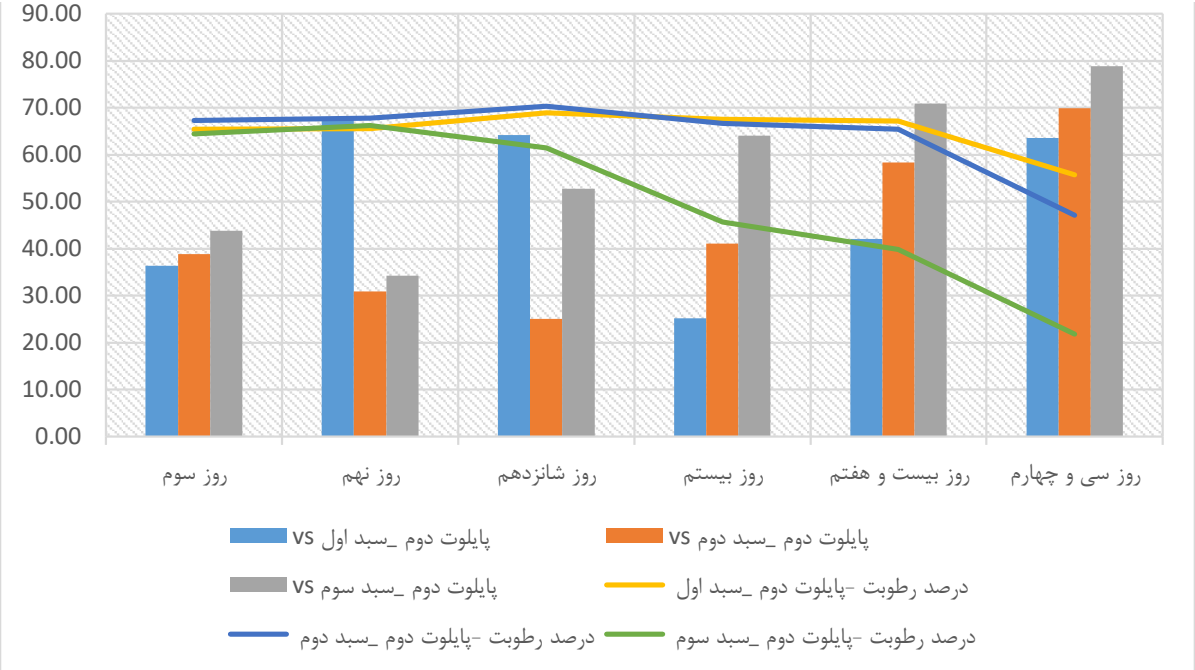
هدایت الکتریکی آب نشان دهنده میزان املاح‌های موجود در آب می‌باشد. واحد هدایت الکتریکی که آن را با EC نیز نمایش می‌دهند. ohm-۱ یا mho می‌باشد و واحد هدایت الکتریکی ویژه آب µmho/cm (میکرو موس بر سانتی‌متر) که در سیستم SI با µSiemens/cm (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) نمایش داده می‌شود. از همین رو در این بخش مقدار EC برای هر سبد در هر مرحله در هر روز از پایلوت آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته است.

در این قسمت نیز شکل ۴ نتایج EC به دست آمده نشان می‌دهد که در مرحله اول و دوم EC با گذر زمان کاهش یافته است، که این کاهش رطوبت برای سبد سوم به نسبت سبد اول و دوم بیشتر بوده و در مرحله اول به نسبت مرحله دوم با توجه به تعداد بیشتر حفره‌های هوادهی شاهد کاهش سریع میزان EC خواهیم بود. به صورتی که در روز پایانی هر سه سبد مرحله اول عددی زیر ۱ را به ما نشان می‌دهد ولی در سبدهای مرحله دوم فقط سبد شماره ۳ که در معرض هوادهی مستقیم می‌باشد به زیر عدد ۱ رسید است.

- **میزان جامدات فرار**

در این مرحله درصد رطوبت و میزان جامدات فرار (VS) مقایسه شده است. که نتایج به دست آمده در شکل‌ها ۳-۴ حاکی از کاهش رطوبت و افزایش جامدات فرار می‌باشد.

همان طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است بعد از گذشت سیکل مدنظر در مرحله اول، پسماند موجود رطوبت خود را از دست داده و بیشترین تغییرات معنادار در روز نوزدهم به بعد مشاهده شده است.



شکل ۶. مقایسه درصد رطوبت و VS در مرحله دوم

Fig. 6. Comparison of moisture content and VS in the stage 2

جدول ۶. نتایج pH و TOC شیرابه

Table 6. pH and TOC results of leachate

شاخص	خروجی
TOC	۳۱۲۱
PH	۸/۳۵

همچنین در پایان دوره (روز آخر) میزان درصد رطوبت کاهش چشم‌گیری داشته و میزان جامدات فرار با افزایش رو به رو شده است. این میزان کاهش رطوبت و افزایش جامدات فرار به ترتیب در سبد سوم، اول و دوم را شاهد هستیم.

همان طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است بعد از گذشت سیکل مدنظر در مرحله دوم، پسماند موجود رطوبت خود را نسبتا از دست داده و بیشترین تغییرات معنادار در روز بیست و ششم به بعد مشاهده شده است. همچنین در پایان دوره (روز آخر) میزان درصد رطوبت کاهش داشته و میزان جامدات فرار با افزایش رو به رو شده است. این میزان کاهش رطوبت و افزایش جامدات فرار به ترتیب در سبد سوم، اول و دوم را شاهد هستیم.

نتایج حاکی از آن است که مرحله دوم نسبت به مرحله اول دارای کاهش درصد رطوبت و افزایش میزان جامدات فرار کمتر می‌باشد و علت آن هم همان طور که در قسمت‌های قبلی گفته شده مقدار هوادهی متفاوت در دو پایلوت (مرحله اول: با چهار حفره هوادهی، مرحله دوم: با دو حفره هوادهی) می‌باشد. همچنین شاخص‌های pH و TOC شیرابه بیانگر مطلوب بودن آزمایشات می‌باشد. که نتایج به دست آمده در جدول ۶ قابل مشاهده است.

در نهایت وزن پسماند باقی مانده در پایان دوره (روز آخر) به مقدار قابل توجهی کاهش و در مجموع دو دستگاه به ۶/۸۶۰ کیلوگرم بالغ گردیده است و نکته قابل ذکر دیگر مقدار pH پسماند در همان تاریخ به صورت عصاره محلول در آب مقطر است که شاخص ۷ الی ۷/۵ را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

خشک شدن بیولوژیکی یک فرایند خودکار حرارتی است که در آن میزان خشک شدن با گرمای بیولوژیکی آزاد شده در هنگام تجزیه مواد آلی در محل افزایش می‌یابد. بنابراین، جایگزین جالبی برای مدیریت پسماند از نظر امکان سنجی و هزینه ارائه می‌دهد. خشک کردن بیولوژیکی باعث کاهش رطوبت ضمن حفظ کالری می‌شود. استفاده از خشک کردن بیولوژیکی روش مناسبی برای تصفیه پسماندهای بسیار مرطوب است که در صورت سوختن پسماند مستقیم و بدون هیچ گونه پردازشی، مقدار زیادی شیرابه را آزاد می‌کند. همچنین محتوای آب پسماندهای جامد شهری عامل بسیار مهمی است که بر راندمان احتراق و از این رو در فرآیندهای تبدیل انرژی به پسماند تأثیر می‌گذارد. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تاثیر هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی به روش خشک کردن بیولوژیکی پسماند حاصل از پسماند غذایی فسادپذیر می‌باشد. از همین رو یک سیستم بیودرینگی در مقیاس پایلوت نوآورانه برای تصفیه ضایعات جامد شهری طراحی شده است و عوامل مهم و تاثیرگذار را با متغیرهای تعیین کننده شامل: میزان اختلاط، رطوبت، اندازه ذرات، زمان هوادهی، مقدار هوادهی و عامل حجیم در نظر گرفته شده، و با توجه به اهمیت موارد فوق، اقدام به انجام دو مرحله برای پوشش دادن بخش قابل توجهی از موارد فوق گردیده است. داده به دست آمده نشان داد که در مرحله اول و دوم EC با گذر زمان کاهش یافته است، همچنین بعد از گذشت سیکل مدنظر در مرحله اول، پسماند موجود رطوبت خود را از دست داده و بیشترین تغییرات معنادار در روز نوزدهم به بعد مشاهده شده است که در پایان دوره برابر با ۲۵/۱۰ می‌باشد و در مرحله دوم، پسماند موجود رطوبت خود را نسبتا از دست داده و بیشترین تغییرات معنادار در روز بیست و ششم به بعد مشاهده شده و در پایان دوره برابر با۲۱/۸۰ می‌باشد. که مرحله دوم نسبت به مرحله اول داری کاهش درصد رطوبت و افزایش میزان جامدات فرار کمتر می‌باشد و علت آن هم مقدار هوادهی متفاوت در دو پایلوت می‌باشد. نتایج نشان داد که وزن، حجم و رطوبت پسماند کاهش یافته همچنین مقدار pH شیرابه (۸/۳۵) پسماند تثبیت و به میزان زیادی حذف و به میزان ۳۰-۴۰ CC باقی مانده است و جامدات فرار (VS) افزایش یافته است. وزن نهایی پسماند برابر با ۶/۸۶۰ کیلوگرم می‌باشد در نتیجه هوادهی در کاهش رطوبت پسماند غذایی فسادپذیر به روش خشک کردن بیولوژیکی یک روش پایدار برای کاهش رطوبت پسماند می‌باشد.

منابع

[1] A.P. Tom, R. Pawels, A. Haridas, Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content, Waste management, 49 (2016) 64-72.

[2] M. Atauzzaman, Q. Bari, Effect of passive and forced aeration on composting of market solid waste, International Journal of Engineering & Technology, 9(1) (2020) 182-186.

[3] L. Liu, J. Ma, Q. Xue, J. Shao, Y. Chen, G. Zeng, The in situ aeration in an old landfill in China: Multi-wells optimization method and application, Waste Management, 76 (2018) 614-620.

[4] C. Brandstätter, R. Prantl, J. Fellner, Performance assessment of landfill in-situ aeration–A case study, Waste Management, 101 (2020) 231-240.

[5] S. Markarian, M. Abbasi, M.J. Ghazizadeh, Evaluation of waste biological process for moisture reduction, in: 4th international congeress of agricultural development, natural resources, environment and tourism in Iran Tabriz, 2018.

[6] G. Passamani, M. Ragazzi, V. Torretta, Potential SRF generation from a closed landfill in northern Italy, Waste management, 47 (2016) 157-163.

[7] C. Scheutz, R.B. Pedersen, P.H. Petersen, J.H.B. Jørgensen, I.M.B. Ucendo, J.G. Mønster, J. Samuelsson, P. Kjeldsen, Mitigation of methane emission from an old unlined landfill in Klintholm, Denmark using a passive biocover system, Waste management, 34(7) (2014) 1179-1190.

[8] K. Suksankraisorn, S. Patumsawad, B. Fungtammasan, Co-firing of Thai lignite and municipal solid waste (MSW) in a fluidised bed: Effect of MSW moisture content, Applied Thermal Engineering, 30(17-18) (2010) 2693-2697.

[9] F. Vigano, S. Consonni, M. Ragazzi, E.C. Rada, A model for mass and energy balances of bio-Drying, in: North American Waste-to-Energy Conference, 2011, pp. 63-70.

[10] G. Ionescu, E.C. Rada, M. Ragazzi, C. Mărculescu, A. Badea, T. Apostol, Integrated municipal solid waste scenario model using advanced pretreatment and waste to

energy processes, Energy Conversion and Management, 76 (2013) 1083-1092.

[11] J. Ryckeboer, J. Mergaert, K. Vaes, S. Klammer, D. De Clercq, J. Coosemans, H. Insam, J. Swings, A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes, Annals of microbiology, 53(4) (2003) 349-410.

[12] I. Prohmdetbun, T. Srisatit, Effect of Passive Aeration on Fed Batch Composting of Organic Waste in Compost Bioreactors, EnvironmentAsia, 13(1) (2020).

[13] B. Zaman, W. Oktiawan, M. Hadiwidodo, E. Sutrisno, I.W. Wardana, Potential application of biodrying to treat solid waste, in: E3S Web of Conferences, EDP Sciences, 2018, pp. 03013.

[14] M. Dębicka, M. Żygadło, J. Latosińska, Investigations of bio-drying process of municipal solid waste, Ecological Chemistry and Engineering. A, 20(12) (2013).

[15] M. Dębicka, M. Żygadło, J. Latosińska, The effectiveness of biodrying waste treatment in full scale reactor, Open chemistry, 15(1) (2017) 67-74.

[16] L. Cai, T. Krafft, T.-B. Chen, D. Gao, L. Wang, Structure modification and extracellular polymeric substances conversion during sewage sludge biodrying process, Bioresource Technology, 216 (2016) 414-421.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Markarian, M. Abbasi , M. Jalilighazizadeh, Investigating the effect of aeration on reducing food moisture by biological drying method, Amirkabir J. Civil Eng., 53(12) (2022) 5503-5516.

DOI: 10.22060/ceej.2020.18861.6986

This page intentionally left blank