بررسی و ارزیابی هاضم‌های مختلف به منظور هضم بی‌هوازی پسماندهای شهری

فاطمه سلکی چشمه سلطانی[1*]، شاهین رفیعی[2]، علی جعفری[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم-گرایش طراحی و ساخت، دانشگاه تهران (کرج)؛ solki.fatemeh.che@ut.ac.ir
۲. استاد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ shahinrafiee@ut.ac.ir
۳. استاد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ jafarya@ut.ac.ir

چکیده

دفع غیراصولی پسماندهای شهری یکی از چالش‌های اصلی محیط‌زیست می‌باشد. محدودیت سوخت‌های فسیلی، افزایش انتشار گازهای کربن و مشکلات زیست‌محیطی سبب شده که استفاده از منابع زیست‌توده جایگزین سوخت‌های فسیلی گردد. روش هضم بی‌هوازی یکی از فناوری‌های استحصال انرژی از زیست‌توده می‌باشد. در روش هضم بی‌هوازی بیوگاز و کود آلی غنی از نیتروژن تولید می‌گردد. تولید حرارت و بخار؛ تولید انرژی الکتریسیته به همراه حرارت و برق؛ منبع تأمین انرژی صنعتی برای حرارت، بخار، برق و خنک‌سازی؛ استفاده در سوخت‌های وسایل نقلیه؛ تولید مواد شیمیایی و بروز رسانی سیستم گازرسانی طبیعی ازجمله اهداف تولید بیوگاز می‌باشد. برای انجام فرآیند هضم بی‌هوازی از هاضم‌های مختلفی استفاده می‌گردد که در پژوهش حاضر به معرفی انواع هاضم‌ها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: *پسماند، هضم بی‌هوازی، هاضم، انرژی*

نویسنده مسئول: solki.fatemeh.che@ut.ac.ir

بررسی و ارزیابی هاضم‌های مختلف به منظور هضم بی‌هوازی پسماندهای شهری

مقدمه

یکی از چالش‌ها و مسائل اصلی زیست‌محیطی افزایش تولید پسماندهای جامد شهری می‌باشد که دفع غیراصولی آن‌ها سبب تحمیل هزینه‌های دفع و آلودگی محیط‌زیست می‌گردد [۴]. استفاده بهینه از منابع انرژی موجود در کشور با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش مشکلات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در پی افزایش جمعیت، در راستای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور امری مهم و ضروری است [۸].

پسماند تولیدی در طول روز بر اساس تقسیم‌بندی سازمان حفاظت از محیط‌زیست در سال ۱۳۹۷ به چهار بخش پسماندهای شهری، روستایی، کلان‌شهر و استان‌های شمالی تقسیم می‌گردد که مقادیر هر یک به ترتیب برابر با ۳۸۶۳۰، ۱۱۰۰۰، ۱۵۴۴۲ و ۵۳۹۱ تن در روز است. همچنین میانگین وزنی مواد آلی جداسازی شده از زباله‌های جامد شهری در کشور و شهر تهران به ترتیب برابر با ۷۲/۰۴ و ۷۴/۵۶ درصد می‌باشد و مابقی آن‌ها شامل موادی ازجمله کاغذ و مقوا، پلاستیک، فلزات، لاستیک، منسوجات، شیشه، چوب و سایر مواد می‌گردد [۵].

ازنظر زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از منابع زیست‌توده و جایگزینی آن‌ها با سوخت‌های فسیلی که علاوه بر محدود بودن منابع آن‌ها سبب افزایش انتشار گازهای کربن می‌گردد، گزینه مناسبی برای تأمین انرژی موردنیاز بشر می‌باشد [۱۷]. استحصال انرژی از زیست‌توده دارای فناوری‌های متنوعی می‌باشند که به سه دسته کلی ترموشیمیایی، بیوشیمیایی و شیمیایی-فیزیکی تقسیم می‌شود [۸].

یکی از فناوری‌های استحصال انرژی از زیست‌توده، هضم بی‌هوازی زیست‌توده می‌باشد [۷]. هضم بی‌هوازی به فرآیندی گفته می‌شود که در طی آن مواد آلی که به شکل‌های کربوهیدرات، پروتئین، لیپید و ترکیبات پیچیده می‌باشند به بیوگاز تبدیل می‌شوند [۱۴]. به عبارت دیگر هضم بی‌هوازی یک روش و تکنیک مهندسی برای تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی در شرایطی که اکسیژن وجود ندارد، می‌باشد. محصول این فرآیند تولید بیوگاز (۶۰ تا ۷۰ درصد متان) و یک ماده آلی غنی از نیتروژن می‌باشد [۱۱]. عوامل مختلفی ازجمله درصد مواد جامد، دما، زمان نگه‌داشتن، PH، نسبت کربن به نیتروژن، ترکیبات و نرخ بارگذاری مواد آلی و مواد جامد سبک در فرآیند هضم بی‌هوازی تأثیرگذار هستند [۱۱ و ۱۲].

تولید حرارت و بخار؛ تولید انرژی الکتریسیته به همراه حرارت و برق؛ منبع تأمین انرژی صنعتی برای حرارت، بخار، برق و خنک‌سازی؛ استفاده در سوخت‌های وسایل نقلیه؛ تولید مواد شیمیایی و بروز رسانی سیستم گازرسانی طبیعی ازجمله اهداف مختلف تولید بیوگاز می‌باشد [۱۰]. لازم به ذکر است که انرژی تولیدشده در فرآیند هضم بی‌هوازی زیست‌توده برای تأمین انرژی حرارتی صنایع، موتورهای احتراق داخلی، توربین‌های گازی، بویلرهای نیروگاهی و همچنین در سیستم گرمایش خانگی و تجاری قابل استفاده است [۷]. همچنین می‌توان از زیست تولیدشده در طی این فرآیند نیز به‌عنوان کود طبیعی و نرم‌کننده خاک استفاده کرد [۱۴].

بر اساس آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران روزانه بیش از ۳۰۰ تن از پسماندهای شهری وارد سیستم هاضم هضم بی‌هوازی می‌گردد که پس از خالص‌سازی مقدار ۲ مگاوات ساعت الکتریسیته و ۲۳۰۰۰ مترمکعب بیوگاز با ترکیب ۷۰ درصد متان و ۳۰ درصد کربن دی‌اکسید از آن استحصال می‌گردد [۵].

مواد اولیه آلی ازجمله زباله‌های غذایی و کودهای دامی برای تغذیه دستگاه‌های هضم‌کننده بی‌هوازی زیست‌توده استفاده می‌گردند [۸]. برخی مواد اولیه مورد استفاده برای فرآیند هضم بی‌هوازی عبارت‌اند از: پسماندهای شهری و کشاورزی، فضولات حیوانی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی و مواد فسادپذیر شهری [۷].

فرآیند هضم بی‌هوازی بر اساس درصد مواد جامد موجود در دستگاه‌های هضم‌کننده بی‌هوازی (هاضم‌ها) طبقه‌بندی می‌گردند، عبارت‌اند از: ۱) سیستم‌های جامد کم (حاوی کمتر از ۱۰ درصد مواد جامد)، ۲) جامد متوسط (حاوی ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد جامد) و ۳) جامد زیاد (حاوی ۲۲ تا ۴۰ درصد مواد جامد) [۱۶].

پژوهش‌های متفاوتی در حوزه هضم فرآیند بی‌هوازی صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. در پژوهشی فرآیند هضم بی‌هوازی به‌منظور پیش‌بینی رفتار سیستم، مدل‌سازی گردید و ارتباط بین پارامترهای مختلف در طی انجام فرآیند بررسی شد [۱۴]. در پژوهشی دیگر تأثیر ترکیبات بر فاکتورهای کلیدی ازجمله تولید متان و اجتماع میکروبی در سه دستگاه هضم‌کننده بی‌هوازی با یکدیگر مقایسه و بررسی گردید [۱۳]. پتانسیل تولید بیوگاز با هضم بی‌هوازی کود دامی در پژوهشی دیگر مورد بررسی قرار گرفت [۱۰]. در پژوهشی انواع مواد اولیه مورد استفاده در فرآیند هضم بی‌هوازی ازجمله کودهای دامی، پسماندهای زراعی و گیاهانی که تولید انرژی می‌کنند، مورد مطالعه قرار گرفتند [۱۵]. در پژوهشی یک نمونه هاضم بی‌هوازی برای استفاده در یک منزل مسکونی با اقتباس از دو مدل هاضم چینی و هندی طراحی و مورد آزمایش قرار گرفت [۱]. در پژوهشی دیگر عملکرد لاگون‌ها در مناطق سرد و معتدل مورد بررسی قرار گرفت [۶]. در مقاله حاضر انواع دستگاه‌های هضم بی‌هوازی (هاضم) بررسی می‌شوند.

هاضم‌ها

همان‌طور که اشاره شد به دنبال افزایش جمعیت و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی بشر به دنبال جایگزین‌های مختلفی برای تأمین انرژی مورد نیاز خود می‌باشد که ضمن تأمین انرژی لازم به حفظ محیط‌زیست نیز کمک کند. هضم بی‌هوازی زیست‌توده یک روش تولید انرژی از زیست‌توده می‌باشد که می‌توان آن را مورد استفاده قرار داد.

برای انجام فرآیند هضم بی‌هوازی از هاضم‌های مختلفی استفاده می‌گردد. اساس کار تمام هاضم‌ها یکسان می‌باشد و به‌طورکلی به دسته سیستم‌های غیرفعال، سرعت‌پایین و سرعت‌بالا تقسیم می‌گردند. در سیستم‌های غیرفعال جریان بازگشتی بیوگاز مجدد به سیستم اضافه می‌شود؛ در سیستم‌های سرعت‌پایین منبع اصلی میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان ، جریان خوراک داخل هاضم می‌باشد و در سیستم‌های سرعت‌بالا برای افزایش بهره‌وری میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان در داخل هاضم به دام می‌افتند [۳].

هاضم‌های چینی، هاضم‌های با سرپوش شناور (هاضم‌های هندی)، لاگون بی‌هوازی سرپوشیده، هاضم اختلاط کامل، هاضم جریان پیستونی، هاضم بی‌هوازی بافل دار، هاضم بی‌هوازی تماسی، هاضم بستر لجن بی‌هوازی، هاضم تثبیت تماسی، هاضم بستر سیال بی‌هوازی، هاضم اسیدی فازی شده و هاضم حرارتی فازی شده دستگاه‌های هضم‌کننده بی‌هوازی می‌باشند [۸]. در ادامه برخی از هاضم‌های ذکرشده به‌طور خلاصه معرفی می‌گردند.

هاضم‌های چینی: این هاضم توسط یک فرد چینی در سال ۱۹۳۶ میلادی ساخته شد. این هاضم از آجر، سنگ یا بتن ساخته می‌شود و امکان استفاده از آن در محیط‌های مختلف فراهم می‌باشد. فشار در درون این هاضم ثابت نیست و با استفاده از شیرهای فشارشکن می‌توان فشار را کنترل نمود. رعایت اصول فنی و مهندسی در طراحی و ساخت این نوع هاضم به‌منظور

جلوگیری از ایجاد شکاف و ترک در هاضم برای کنترل وضعیت گاز بندی حائز اهمیت است [۸]. به دلیل رو باز بودن مخزن این مدل هاضم بیوگاز در محیط اطراف پخش می‌شود که هم سبب هدر رفت گاز تولیدشده می‌گردد و بوی این گاز زیستی در اطراف به مشام می‌رسد [۱].

هاضم‌های با سرپوش شناور (هاضم‌های هندی): این هاضم‌ها به دلیل استفاده از آن‌ها در کشور هندوستان به هاضم‌های هندی معروف هستند. این هاضم‌ها دارای یک محفظه تخمیر از جنس آجر، سیمان، سنگ و بتن و یک سرپوش شناور از جنس فلز، پلی‌اتیلن سنگین و فایبرگلاس می‌باشند. گاز تولیدشده از تجزیه زیست‌توده (بیوگاز) در زیر سرپوش شناور حبس می‌شود و فشار آن به وزن نگه‌دارنده گاز در واحد سطح بستگی دارد. درجه حرارت این هاضم‌ها برابر با دمای محیط است و زمان ماند محتویات آن بستگی به شرایط آب‌وهوا دارد به‌طور مثال ۳۰ روز در دمای ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۰ روز در آب‌وهوای معتدل و ۵۰ روز در آب‌وهوای سرد محتویات در محفظه تخمیر قرار می‌گیرند [۸].

لاگون بی‌هوازی سرپوشیده: این هاضم دارای دو سلول است که یکی از آن‌ها دارای پوشش و یکی بدون پوشش می‌باشد. در این سیستم سطح مایع در سلول بدون پوشش بالا و پایین می‌رود و سلول پوشیده به‌منظور افزایش تجزیه کود ثابت می‌ماند. میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان به دلیل انباشته شدن لجن‌ها بیش از بیست سال در داخل سیستم لاگون، باقی بمانند. زمان ماند مایع در داخل سیستم بین ۳۰ تا ۶۰ روز می‌باشد [۳]. سرعت هضم در داخل لاگون پایین می‌باشد و به دمای محیط اطراف وابسته است [۷]. لاگون‌هایی که برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شوند شامل پنج گروه (لاگون‌های بی‌هوازی، لاگون اختیاری، لاگون هوازی، لاگون ته‌نشینی یا تکمیلی و لاگون هوادهی) هستند که معمولاً به‌صورت سری استفاده می‌گردند [۶].

هاضم‌های اختلاط کامل: سرعت هضم این هاضم‌ها پایین است. این هاضم‌ها دارای یک سیستم گرمایش و یک همزن برای مخلوط کردن و هم زدن محتویات درون مخزن می‌باشند [۷]. در این نوع هاضم، کود درون مخزن ضمن مخلوط شدن با میکروارگانیسم‌ها حرارت داده می‌شوند. زمان ماند مایع در داخل هاضم ۲۰ تا ۳۰ روز می‌باشد [۳]. این سیستم بیشتر در نواحی گرم بهره‌برداری می‌گردند [۲].

هاضم جریان پیستونی: این هاضم دارای یک محفظه افقی که با مواد غیرقابل نفوذ مانند سیمان پوشانده می‌شود و یک سرپوش از جنس آهن گالوانیزه یا بتن برای نگه‌داری گاز می‌باشد. ورودی و خروجی این هاضم بر روی دیواره‌های جانبی و در مقابل یکدیگر قرار دارد و مواد خام ازیک‌طرف وارد و مواد تخمیر شده از طرف دیگر این هاضم خارج می‌شود [۸].

هاضم بی‌هوازی بافل دار: این هاضم دارای یک محفظه تخمیر با راه‌بندهایی جهت در تماس بودن مواد آلی با باکتری‌های زنده فعال می‌باشد. به دلیل طراحی ویژه این سیستم بیشتر میکروارگانیسم‌ها در هاضم باقی می‌مانند. بازده این هاضم‌ها بالا گزارش شده است [۸]. بافل‌های موجود در درون مخزن سبب ایجاد تلاطم و جریان و افزایش زمان تماس با لجن می‌گردند که این امر تصفیه را بهبود می‌بخشد [۲].

هاضم‌های بی‌هوازی تماسی: فرآیند هضم در این هاضم‌ها با سرعت‌بالا صورت می‌پذیرد. از این نوع هاضم برای هضم بی‌هوازی لجن در واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب‌های شهری استفاده می‌شود. زمان ماند محتویات درون هاضم بین ۱۰ تا ۲۰ روز می‌باشد. به دلیل راندمان بالا حذف بار آلودگی از این نوع هاضم برای تصفیه پساب‌های صنعتی ازجمله صنایع غذایی استفاده می‌شود [۸].

هاضم بستر لجن بی‌هوازی (راکتور بی‌هوازی بالارو با لجن گرانوله): این هاضم‌ها بر اساس تشکیل میکروارگانیسم با دانسیته بالا برای نگه‌داری در سیستم طراحی شده است. هاضم مذکور می‌توانند باکتری‌های بی‌هوازی را به‌صورت گرانول و با قطر یک تا پنج میلی‌متر تشکیل دهند و به حالت ته‌نشین در راکتور نگه‌داری کنند. مواد خام از پایین راکتور وارد می‌شود و از بستر لجن عبور می‌کند و مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه‌شده و بیوگاز تولید می‌گردد. لازم به ذکر است که هاضم بستر لجن بی‌هوازی به سیستم اختلاط مکانیکی و جریان بازگشت لجن نیاز ندارد [۲ و ۸].

هاضم تثبیت تماسی: سرعت هضم این هاضم‌ها بالا می‌باشد و دارای دو راکتور پشت سر هم هستند. در این نوع هاضم‌ها خروجی راکتور اول وارد یک جداکننده می‌شود و فاز جامد محتویات وارد راکتور دوم می‌گردد. خروجی راکتور دوم نیز به راکتور اول بازمی‌گردد [۸].

هاضم بستر سیال بی‌هوازی: در این نوع هاضم‌ها میکروارگانیسم‌ها به‌صورت تک لایه بر روی مواد جامدی از جنس شن، کربن فعال، کوارتز، آلومینا، آنتراسیت و کریستو بالیت با قطر ۰/۲ تا ۰/۶ میکرون رشد می‌کنند. ذرات جامد ذکر شده دارای سطح تماس بالایی بوده و غلظت میکروارگانیسم‌های رشد کرده بر روی آن‌ها ۳۰ گرم بر لیتر می‌باشد. خوراک‌دهی به این نوع هاضم از پایین راکتور انجام می‌شود. مواد به‌محض ورود در راکتور بر روی لایه میکروبی تشکیل‌شده می‌روند و توسط باکتری‌های اسیدوژن و متانوژن به بیوگاز تبدیل می‌گردند [۸].

روش‌های هضم بی‌هوازی زباله‌های جامد شهری بر اساس درصد مواد جامد به سه دسته تک مرحله، چند مرحله و دسته‌ای تقسیم می‌شود. در روش یک مرحله‌ای از یک راکتور برای هر دو مرحله تولید اسید و متان استفاده می‌شود، در روش چندمرحله‌ای فرآیند هضم بی‌هوازی به‌منظور بهبود هضم مراحل مختلف در راکتورهای مختلف انجام می‌شود و راکتورهای دسته‌ای با مواد اولیه بارگیری می‌شوند و در معرض واکنش قرار می‌گیرند و سپس با دسته دیگر تخلیه و بارگیری می‌گردند [۱۶].

نتایج و بحث

روش هضم بی‌هوازی یک روش مناسب برای استفاده از پسماندهای تولید شده در بخش‌های مختلف می‌باشد. برای انجام فرآیند هضم بی‌هوازی هاضم‌های مختلفی وجود دارد که بر اساس مواد اولیه ورودی و شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تولید محصولات باارزش افزوده زیاد و کاهش اثرات زیست‌محیطی از مزایای روش هضم بی‌هوازی می‌باشد. تولید گرما و الکتریسیته، سوخت وسایل نقلیه درون‌سوز و مواد اولیه صنایع شیمیایی ازجمله مواد باارزش افزوده بالا می‌باشند در طی فرآیند هضم بی‌هوازی پسماندهای آلی تولید می‌شوند؛ همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، حفظ جنگل‌ها، بهبود کیفیت هوا، جمع‌آوری مواد زائد از نقاط مختلف و جلوگیری از انتشار و پخش شدن آن‌ها و تولید کودهای طبیعی و مفید ازجمله مواردی است که به کاهش آثار زیست‌محیطی کمک می‌کند [۲].

همچنین اثرات استفاده از روش هضم بی‌هوازی به سه دسته اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی قابل تقسیم می‌باشد. جلوگیری از توسعه محل‌های دفن پسماند و افزایش گازهای گلخانه‌ای، از بین بردن عوامل بیماری‌زا در زیست‌توده‌های تثبیت‌شده و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ازجمله آثار زیست‌محیطی روش هضم بی‌هوازی است. اثرات اقتصادی استفاده از روش هضم بی‌هوازی شامل مواردی ازجمله تولید و فروش انرژی‌های تولیدشده مانند بیوگاز،

الکتریسیته و حرارت و کودهای آلی، استحصال مواد قابل بازیافت و فروش آن به صنایع بازیافت می‌شود. همچنین در بخش اثرات اجتماعی نیز مواردی ازجمله ایجاد اشتغال در نیروگاه‌ها و بهینه‌سازی وضعیت بهداشتی افرادی که با پسماند و ضایعات سروکار دارند [۸].

به‌طور خلاصه مزایای استفاده از هضم بی‌هوازی از دیدگاه پژوهشگران مختلف بیان شد. با توجه به موارد ذکرشده استفاده از روش هضم بی‌هوازی یک روش مناسب جهت مدیریت پسماندها می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان ضمن کاهش مواردی ازجمله آلودگی‌های زیست‌محیطی و آب‌های زیرزمینی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و جلوگیری از گسترش محل‌های دفن زباله، موارد باارزشی ازجمله بیوگاز، حرارت، الکتریسیته و کودهای آلی غنی از نیتروژن تولید کرد. همچنین لازم به ذکر است با احداث نیروگاه‌های مختلف جهت بهره‌وری از پسماند و ضایعات در بخش‌های مختلف، ایجاد شغل می‌شود و همین امر به اشتغال‌زایی کمک می‌کند.

علاوه بر مزایایی که استفاده از هضم بی‌هوازی دارای می‌باشد دارای معایب و چالش‌هایی ازجمله نیاز به سرمایه اولیه و زمین زیاد می‌باشد [۸].

با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی که زندگی آیندگان را به خطر می‌اندازد استفاده از روش هضم بی‌هوازی باوجود چالش‌های ذکرشده توصیه می‌گردد.

بر اساس معرفی‌های انجام‌شده از انواع هاضم‌ها، هاضم‌های چینی و هندی به دلیل باز بودن و کاملاً عایق نبودن، بازدهی بالایی ندارند و سبب اتلاف بیوگاز تولیدشده می‌گردند. روزانه مقدار زیادی پسماند در سراسر کشور تولید می‌گردد که در صورت عدم مدیریت آن‌ها مشکلات متعددی را ایجاد خواهد کرد. با توجه به‌سرعت بالای تولید زباله در کشور به‌خصوص در شهرها و کلان‌شهرها توصیه می‌گردد که از هاضم‌های با سرعت‌بالا مانند هاضم‌های بافل‌دار و هاضم‌های بی‌هوازی تماسی استفاده شود. با توجه به تنوع اقلیمی در کشور، پیشنهاد می‌شود در مناطقی که مقدار زباله‌های کمتری به‌صورت روزانه تولید می‌گردد با توجه به نوع آب‌وهوا هاضم مناسب آن منطقه انتخاب شود به طور مثال در نقاط گرمسیر، هاضم اختلاط کامل و در نقاط سردسیر، هاضم‌های لاگون بی‌هوازی سرپوشیده مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی استفاده از روش هضم بی‌هوازی یک روش مناسب جهت تولید بیوگاز، حرارت و الکتریسیته با کمترین میزان آثار و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که با ایجاد نیروگاه‌های بهره‌برداری به روش هضم بی‌هوازی امکان اشتغال‌زایی فراهم می‌گردد.

منابع

۱. آذری کیا، م. و اشجاری، م.ع. ۱۳۹۵. بررسی میزان تولید گاز زیستی در یک هاضم ترکیبی متشکل از مدل‌های چینی و هندی. نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک ایران، ۱۸(۴): ۶- ۲۸.

۲. بازدار، ا. و شایگان، ج. ۱۳۹۷. مروری بر چگونگی تولید و تصفیه گاززیستی. نشریه مهندسی شیمی ایران، ۱۷(۹۸): ۵۲- ۷۰.

۳. تاجمیر ریاحی، م. ۱۳۹۵. مروری بر فرایند هضم بی‌هوازی و تولید بیوگاز. اولین کنفرانس علوم مهندسی و نانو.

۴. زولی، م.ع.، طیبان، م.ر. و بلارک، د. ۱۳۹۲. ارزیابی کمیت پسماند تولیدی در دانشگاه علوم پزشکی مازندران و بررسی قابلیت بازیافت آن. مجله بهداشت و توسعه، ۲ (۲): ۸۳- ۹۳.

۵. فرج‌پور باصر، س. و ولی‌نژاد، ز. ۱۳۹۸. پتانسیل‌سنجی امکان تولید انرژی از پسماندهای خانگی (نمونه مطالعاتی شهر تهران). مطالعات علوم محیط‌زیست. ۴(۳): ۱۶۴۴-۱۶۵۲.

۶. کفیل، م. و معاضد، ه. ۱۳۹۲. مروری بر عملکرد برکه‌های تثبیت و لاگون‌های هوادهی در تصفیه فاضلاب در مناطق سرد و معتدل ایران و جهان. اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار.

۷. مهردادی، ن.، محمدی، پ.، کرباسی، ع.ر. و عدل، م. ۱۳۸۳. ارزیابی فرایند هضم بی‌هوازی زباله‌های فسادپذیر شهری. مجله محیط شناسی، ۳۴: ۱۵-۱۹.

۸. نظری، ع. و نصیری، ج. ۱۳۹۳. انواع هاضم‌های بی‌هوازی برای استحصال انرژی از مواد آلی فسادپذیر. فصلنامه علمی-تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۲: ۳۷- ۴۴.

9. Ding, L. and Hu, B. Designing and building a lab-scale solid state anaerobic digester coupled with a bioelectrochemical treatment to process and waste: A reflection.
10. HolmNielsen, J.B., Al Seadi, T. and Oleskowicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource technology, 100: 5478-5484.
11. Li, Y., Park, S.Y. and Zhu, J. 2011. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. Renewable and sustainable energy reviews, 15: 821-826.
12. Monnet, F. 2003. An introduction to anaerobic digestion of organic wastes.
13. Nguyen, L.N., Johir, M.A.H., Commault, A., Bustamante, H., Aurisch, R., Lowrie, R. and Nghiem, L.D. 2019. Impact of mixing on foaming methane production, stratification and microbial community in fullscale anaerobic co-digestion process. Bioresource technology, 281: 226-233.
14. Ramachandran, A., Rustum, R. and Adeloye, A.J. 2019. Anaerobic digestion process modeling using Kohonen self-organising maps. Heliyon.
15. Steffen, R., Szolar, O. and Braun, R. 1998. Feedstocks for anaerobic digestion.
16. Verma, Sh. 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. Partial fulfillment of the requirement.
17. Wu, N., Moreria, C.M., Zhang, Y. and Doan, N. Techno-Economic analysis of biogas production from microalgae through anaerobic digestion. Anaerobic digestion.

Investigation and Evaluation of Different Digestives for Anaerobic Digestion of Municipal Waste

Fatemeh Solki Cheshmeh Soltani[1*], Shahin Rafiee[2], Ali Jafari[3]

1. Master student in Mechanic of Bio system engineering, university of Tehran, Karaj, Iran
2, 3. Professor in Mechanic of Biosystems Engineering, University of Tehran

Abstract

Disposal of municipal solid waste is one of the major environmental challenges. Restrictions on fossil fuels, increased carbon emissions and environmental problems have led to the use of biomass resources to replace fossil fuels. Anaerobic digestion is one of the technologies of energy extraction from biomass. Anaerobic digestion produces biogas and nitrogen-rich organic fertilizer. Heat and steam generation; Electricity generation with heat and electricity; Industrial power supply for heating, steam, electricity and cooling; Use in vehicle fuels; Chemical production and upgrading of natural gas systems. Different digestives are used for anaerobic digestion process. In this study, different types of digestions were introduced.

Keywords: Waste, Anaerobic Digestion, Digestion, Energy

*Corresponding author
E-mail: solki.fatemeh.che@ut.ac.ir