Journal of Health

Vol. 9, No. 1, Spring 2018, Pages 7-17

Effect of Thermal and Thermo-chemical Pretreatments on Food Waste in Anaerobic Digestion and Methane Production in Batch Leach Bed Reactor with Down Flow at Thermophilic Temperature

Radmard S.A[1], Haji Agha Alizadeh H[2], Seifi R[3]

1. PhD student in mechanical biosystems, Faculty of agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Assistant professor, Department of mechanical biosystems, Faculty of agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
3. Associate Professor, Department of mechanical engineering, Faculty of engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

**** Corresponding author.*** Tel: +989191470378, Fax: +98253343947, E-mail: abassradmard@gmail.com

Received: Jun 13, 2016 Accepted: Jan 16, 2017

Archive of SID

ABSTRACT

Background & objectives: Energy recovery from waste is a proper way to waste management and energy production from foods waste. Anaerobic digestion of the waste is a suitable way to produce clean energy. This study aimed to investigate the anaerobic digestion of food waste and methane production by thermal and thermo-chemical pretreatments at a temperature of thermophilic (55 ˚C) in the Batch Leach Bed Reactor with Down Flow reactor (LBR DF).

Methods: In the present study, the food waste collected from Restaurant of Bu-Ali Sina University and autoclaving and microwave pretreatment was performed before feeding LBR DF. In the thermal pretreatments, homogeneous mixture of food waste pretreated using autoclave and microwave. In the thermo-chemical pretreatments, initially, food waste pretreated using NaOH 5N for 60 minutes and then pretreated using autoclave and microwave. LBR DF was launched at thermophilic temperature and SCOD, TCOD, TS and VS values were measured before loading and at the end of tests. By using MATLAB software, the cumulative methane was fitted on modified Gompertz model and B_0, R_m and λ values were determined for all experiments.

Results: According to the results, the best results was in microwave along with NaOH 5N pretreatment that SCOD / TCOD value increased to the amount of 82.25%, methane production to the amount of 39.98 l, $TS_{removed}$ and $VS_{removed}$ to the amounts of 6.01% and 7.1% respectively. In addition, lowest of λ value and highest of R_m value was observed in microwave along with NaOH 5N pretreatment to the amounts of 3.38 (day) and 1.8 (l/day) respectively.

Conclusion: Generally, thermo-chemical pretreatment have the better performance than the thermal pretreatment and without pretreatment. Thermo-chemical pretreatment causes more damage the compounds of food waste and thereby increases the amount of SCOD / TCOD%, $TS_{removed}$, $VS_{removed}$ and methane production.

Keywords: Autoclave; Microwave; Anaerobic Digestion; Food Waste.

www.SID.ir

تاثیر آماده سازی گرمایی و ترموشیمیایی پسماند مواد غذایی بر عملکرد هضم بی هوازی و تولید گاز متان در رآکتور بستر صافی با جریان رو به پایین در دمای ترموفیلیک

سید عباس رادمرد[۱]، حسین حاجی آقا علیزاده[۲]، رحمن سیفی[۳]*

۱. دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
۲. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۹۱۴۷۰۳۷۸ فکس: ۰۲۵۳۳۴۳۹۴۷ ایمیل: abassradmard@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: بازیافت انرژی از پسماندها روشی مناسب برای مدیریت پسماندها و تولید انرژی از پسماندهای مواد غذایی می‌باشد. هضم بی هوازی پسماندها روشی مناسب برای تولید انرژی پاک می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی هضم بی هوازی پسماند مواد غذایی و تولید گاز متان بوسیله آماده سازی گرمایی و ترموشیمیایی در دمای ترموفیلیک (۵۵°C) در رآکتور بستر صافی با جریان رو به پایین (LBR DF) می‌باشد.

روش کار: در این مطالعه پسماند مواد غذایی از رستوران دانشگاه بوعلی سینا جمع آوری شد و آماده سازی گرمایی و ترموشیمیایی پسماندهای مواد غذایی، قبل از تغذیه رآکتور انجام گردید. در آماده سازی گرمایی مخلوط همگن پسماند مواد غذایی با دستگاه اتوکلاو و مایکروویو آماده شد و در آماده سازی ترموشیمیایی، ابتدا پسماند به مدت ۶۰ دقیقه در معرض NaOH 5N قرار گرفت و سپس توسط اتوکلاو و مایکروویو آماده شد. رآکتور در دمای ترموفیلیک راه اندازی شد و مقادیر TS، VS، SCOD، TCOD قبل از بارگذاری و در انتهای آزمایش اندازه‌گیری شدند. مقادیر متان تجمعی آزمایشگاهی با کمک نرم افزار متلب۸/۱ بر مدل تغییر شکل یافته گمپرتز برازش شدند و مقادیر ضرایب B_0، R_m و λ برای همه آزمایش ها مشخص شدند.

یافته ها: بر اساس نتایج، بهترین نتایج در آماده سازی مایکروویو همراه NaOH 5N که موجب افزایش SCOD/TCOD٪ به مقدار ۸۲/۲۵ درصد، گاز متان تجمعی به مقدار ۳۹/۹۸ l و $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ به ترتیب ۶/۰۱ و ۷/۱ درصد گردید. همچنین کمترین مقدار λ و بیشترین مقدار R_m در آماده سازی مایکروویو همراه NaOH 5N به ترتیب (day) ۳/۳۸ و (l/day) ۱/۸ مشاهده شد.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، بطور کلی آماده سازی ترموشیمیایی، عملکرد بهتری نسبت به آماده سازی گرمایی و شاهد دارد. آماده سازی پسماند مواد غذایی به روش ترموشیمیایی موجب تخریب بیشتر ساختار ذرات مواد جامد می‌شود که در نتیجه باعث افزایش مقدار SCOD/TCOD٪، $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ و مقدار تولید گاز متان می‌گردد.

واژه های کلیدی: اتوکلاو، مایکروویو، هضم بی هوازی، پسماند مواد غذایی، متان

دریافت: ۹۵/۳/۲۴ **پذیرش:** ۹۵/۱۰/۲۷

www.SID.ir

مقدمه

پسماند مواد غذایی بهترین ترکیب آلی قابل تخمیر که از منابع مختلف مانند پسماند کارخانه‌های فرآیند مواد غذایی، پسماندهای مواد غذایی تجاری و خانگی و رستوران‌ها بدست می‌آید (۱). تقریباً در تمام نقاط جهان، پسماندهای مواد غذایی خطرات مختلف زیست محیطی و اقتصادی ایجاد می‌کنند (۲). با توجه به اینکه پسماندهای مواد غذایی دارای درصد بالایی از رطوبت هستند و به راحتی قابل تخمیر می‌باشند، هضم بی هوازی به عنوان یکی از روش‌های بیولوژیکی در تثبیت پسماند مورد توجه زیادی قرار گرفته است (۳). از هضم بی هوازی پسماند مواد آلی علاوه بر تثبیت پسماند، کود نیز تولید می‌شود و همچنین به عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی به منظور تولید گرما و توان می‌توان استفاده کرد (٤-۵). یکی از تکنولوژی‌های تولید گاز متان، رآکتورهای بستر صافی می‌باشد. در رآکتورهای بستر صافی، پسماندها را بدون نیاز به آماده سازی‌هایی مانند خرد کردن می‌توان استفاده کرد (۶) که باعث کاهش هزینه‌های آماده سازی، آب و انرژی مورد نیاز می‌شود (۷). محققین بیان کردند که افزایش هضم بی هوازی پسماند مواد غذایی و افزایش عملکرد تولید گاز متان قابل دستیابی می‌باشد زمانی که قبل از بارگیری و هضم بی هوازی در رآکتور، آماده سازی شوند. همچنین آماده سازی پسماند مواد غذایی برای کاهش زمان ماند در رآکتور و کاهش مقدار نهایی پسماند در رآکتور موثر می‌باشد. فرآیند آماده سازی مولکولهای بزرگ و پیچیده را به مولکولهای کوچکتر و ساده تر تبدیل می‌کند و هیدرولیز پسماندها را آسان تر می‌کند (۵-۸). آماده سازی گرمایی (مایکروویو و اتوکلاو) و آماده سازی ترموشیمیایی (مایکروویو و اتوکلاو همراه با NaOH 5N) روش‌های جدیدی برای تجزیه گرمایی و ترموشیمیایی پسماندها می‌باشند که این آماده سازی‌ها روش‌های گرمایی مرسوم را بهبود می‌دهند. بدلیل حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از اتلاف انرژی در خلال انتقال گرما به پسماند، مایکروویو روشی قابل توجه و جالب می‌باشد (۹). مارین و همکاران (۸) تاثیر دما و فشار بالا در آماده سازی توسط مایکروویو بر روی پسماند مواد غذایی را بررسی کردند و افزایش مقدار نسبت حلالیت (SCOD/TCOD٪)، هضم بی هوازی و مقدار تولید بیوگاز را نشان دادند. یکی دیگر از روش‌های آماده سازی گرمایی، اتوکلاو می‌باشد که در آن ازآب به عنوان عامل افزایش دما و فشار استفاده می‌شود. تامپیو و همکاران (۵) هضم بی هوازی پسماند مواد غذایی اتوکلاو شده را با پسماند مواد غذایی بدون اتوکلاو مقایسه کردند و نشان دادند که مقدار عملکرد تولید متان در بدون اتوکلاو ۵-۱۰٪ بیشتر از آماده سازی با اتوکلاو می‌باشد. مناردو و همکاران (۱۰) و بوگرییر و همکاران (۱۱) نشان دادند که پسماندهای اتوکلاو شده تحت شرایط مختلف در رآکتورهای ناپیوسته موجب افزایش تولید گاز متان می‌گردد. لی و همکاران (۱۲) گزارش دادند که آماده سازی به روش ترموشیمیایی باعث افزایش تولید گاز متان از پسماند مواد غذایی می‌شود.

مدل‌های غیرخطی (مانند مدل تغییر شکل یافته گمپرتز)، به‌منظور ارزیابی عملکرد هضم بی‌هوازی پسماندهای مواد آلی استفاده می‌شوند. مدل‌های غیرخطی به‌منظور پیش‌بینی دقیق مدت‌زمان فاز تأخیر، پیش‌بینی مقدار بیوگاز تجمعی نهایی و حداکثر نرخ تولید بیوگاز استفاده می‌شود. اگرچه دهه‌های اخیر تعداد مقالات مربوط به آماده سازی به روش‌های مایکروویو و اتوکلاو افزایش یافته است ولی مقاله ای در مورد استفاده از مایکروویوهای خانگی و اتوکلاو به عنوان آماده سازهای گرمایی و ترموشیمیایی بر روی پسماند مواد غذایی در رآکتور LBR DF انجام نشده است. بنابراین هدف اصلی از این تحقیق، بررسی اثرات مایکروویو و اتوکلاو به عنوان آماده سازی گرمایی و اثرات مایکروویو و

Archive of SID

www.SID.ir

اتوکلاو همراه با NaOH 5N به عنوان آماده سازی ترموشیمیایی بر روی افزایش عملکرد هضم بی هوازی، تولید گاز متان و مقدار SCOD/TCOD٪ در دمای ترموفیلیک (۵۵ C°) در رآکتور LBR DF می‌باشد.

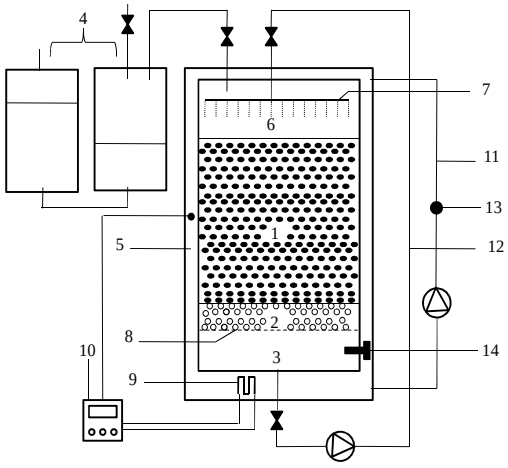
روش کار

مشخصات و شرایط آماده سازی پسماند مواد غذایی

مقدار ۱۰ کیلوگرم پسماند مواد غذایی از رستوران مرکزی دانشگاه بوعلی سینای همدان جمع آوری شد. ترکیبات برنج و ماکارونی پخته شده و پوست موز و سیب و گوشت گاو پخته تا حد امکان از هم تفکیک شدند و مقدار وزن هرکدام از ترکیبات به صورت درصد بدین صورت ارائه شد: برنج پخته (۳۵٪) و ماکارونی پخته شده (۲۵٪)، پوست موز (۱۵٪) سیب (۱۵٪) و گوشت گاو پخته (۱۰٪). برای دستیابی به مخلوطی تقریباً یکنواخت و همگن، این ترکیبات بصورت جداگانه توسط خرد کن تا ابعاد ۱تا ۵ میلیمتر خرد شدند و در نهایت کاملاً با هم مخلوط گردیدند. در آماده سازی گرمایی، مخلوط همگن پسماند مواد غذایی با دستگاه اتوکلاو[1] در $T=120\ C^\circ$، $p=1bar$ و $t=30\ min$ آماده شد و در آماده سازی مایکروویو، مخلوط همگن پسماند مواد غذایی با دستگاه مایکروویو خانگی[2] در $T=80\ C^\circ$، $P=630\ W$ و $t=300\ s$ آماده شد. در آماده سازی ترموشیمیایی، ابتدا آماده سازی شیمیایی انجام می‌شود. به این ترتیب که مقدار PH مخلوط ٤ لیتر آب و پسماند همگن مواد غذایی توسط NaOH 5N در محدوده ۷/۵ تنظیم گردید و سپس در داخل مخزن ۱۵ لیتری ریخته و به مدت یک ساعت بطور یکنواخت توسط همزن مکانیکی هم زده شد. مخزن در دمای آزمایشگاه (۲۳±۲ °C) و در شرایط ناپیوسته و ایزوله نسبت به هوا راه اندازی شد. سپس برای انجام آماده سازی ترموشیمیایی، پسماندهای آماده سازی شده به روش شیمیایی در اتوکلاو و مایکروویو در شرایط آماده سازی گرمایی قرار گرفتند. در طول فرآیند آماده سازی ترموشیمیایی و در رآکتور LBR DF، اگر مقدار pH از ۷ کاهش یافت، مقدار pH را بوسیله NaOH 5N در حدود ۷/۵ تنظیم گردید. بعد از انجام تمام آماده سازی‌ها، نمونه‌ها در دمای اتاق نگهداری شدند تا به دمای محیط آزمایشگاه برسند و سپس مقدار ۵۰ سی سی از شیرآبه و مواد جامد داخل مخزن برای آنالیزهایSCOD (مقدار اکسیژن لازم محلول برای واکنش شیمیایی) وTCOD (مقدار اکسیژن لازم کل برای واکنش شیمیایی) در دمای محیط آزمایشگاه (۲۳±۲°C) و TS (مقدار جامد کل)، VS (مقدار جامد فرار) نمونه برداری شدند.

مشخصات رآکتور LBR DF و شرایط آزمایش

رآکتور LBR DF با ورق استیل ضد زنگ ساخته شد که دارای حجم کلی ۲۰ l و حجم کاری ۱۲/٤۸ l می‌باشد (نمای شماتیک مطابق شکل ۱).



شکل ۱. نمای شماتیک رآکتور LBR DF

۱، پسماند مواد غذایی ۲، بستر سنگ ریزه ای ۳، محل تجمع شیرآبه ٤، سیستم اندازه گیری مقدار بیوگاز ۵، پشم شیشه ۶، محل تجمع بیوگاز ۷، دوش پاشش شیرآبه ۸، توری استیل ضد زنگ ۹، گرم کن برقی ۱۰، ترموستات ۱۱، مسیر سیرکوله آب گرم ۱۲، مسیر سیرکوله شیرآبه ۱۳، pH متر ١٤، دماسنج شیرآبه، ⧗: شیر دستی، ⊛: پمپ

[1] Model OSK, Manufacture Ogawa Seiki Co., LTD. Japan
[2] Model: R-677, Sharp Electronics, UK

Archive of SID
www.SID.ir

در بالای مخزن رآکتور LBR DF، یک توزیع کننده شیرآبه وجود دارد که شیرآبه را بصورت یکنواخت بر روی پسماند مواد غذایی پخش می‌کند. یک توری استیل با مش ۲ mm در فاصله ۱۰ cm از کف مخزن به منظور جلوگیری از مخلوط شدن شیرآبه با پسماند مواد غذایی نصب گردید. یک لایه سنگ ریزه به ضخامت ۵ cm، به عنوان فیلتر در بالای توری استیل قرار گردید. در تمام آزمایش‌ها، به منظور فعال سازی باکتری‌های موجود در رآکتور و راه اندازی تولید گاز متان توسط باکتری‌ها، در پسماند مواد غذایی آماده شده، مقدار یک لیتر شیرابه حاوی باکتری از رآکتور تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا تحت شرایط ترموفیلیک به رآکتور بارگذاری اضافه شد و رآکتور در دمای ۱ ± ۵۵ C° شروع به کار کرد. آزمایش‌ها در آزمایشگاه انرژی‌های تجدید پذیر گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا انجام شد.

آنالیز پسماند مواد غذایی آماده شده

در این تحقیق، به منظور بررسی عملکرد رآکتور در شرایط دمایی ترموفیلیک، پارامترهای مختلفی مانند TS، VS، SCOD، TCOD بر اساس روش‌های استاندارد، اندازه گیری شدند (۱۳). تمامی پارامترها، قبل و بعد از همه آماده سازی‌ها و خروجی رآکتور LBR DF اندازه گیری شدند. روش اندازه گیری SCOD و TCOD بر اساس کد D ۵۲۲۰ از روش‌های استاندارد می‌باشد که با همکاری گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شد و روش اندازه گیری TS بر اساس کد B 2540 و روش اندازه گیری VS بر اساس کد E 2540 از روش‌های استاندارد در آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. همچنین مقدار کاهش TS و VS از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (۱٤) :

$$TS_{removed}\% = \frac{TS_{initioal} - TS_{final}}{TS_{initioal}} \times 100 \quad (۱)$$

$$VS_{removed}\% = \frac{VS_{initioal} - VS_{final}}{VS_{initioal}} \times 100 \quad (۲)$$

مقادیر $TS_{initioal}$ و TS_{final} نشان دهنده مقادیر ماده جامد کل پسماند مواد غذایی قبل از ورود به رآکتور و بعد از خارج شدن از رآکتور می‌باشد و مقادیر $VS_{initioal}$ و VS_{final} نشان دهنده مقادیر جامد فرار پسماند مواد غذایی قبل از ورود به رآکتور و بعد از خارج شدن از رآکتور می‌باشد. در تمام آزمایش‌ها، مقادیر pH توسط دستگاه pH متر (Model pH-230SD, Lutron Electronic Enterprise Co., LTD, Taiwan) و مقدار درصد متان موجود در بیوگاز توسط دستگاه آنالیزور گاز (Metrex3, Huberg, Italy) اندازه گیری شدند. همچنین حجم بیوگاز تولید شده با مقدار آب جابجا شده توسط فشار بیوگاز تولیدی محاسبه شد.

مدل سازی تولید گاز متان

سینتیک تولید گاز متان در شرایط ناپیوسته، متناسب با میزان رشد باکتری‌های متان زا در رآکتور فرض شده است (۱۵). مدل تغییر شکل یافته گمپرتز به منظور پیش بینی و تخمین پارامترهایی مانند زمان فاز تاخیر، حداکثر مقدار گاز متان و نرخ تولید گاز متان استفاده شد که مقادیر ضریب R^2 و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) دقت مدل را نشان می‌دهد (۱۶):

$$B = B_0 \exp\left\{-\exp\left[\frac{R_m e}{B_0}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (۳)$$

B ، مقدار گاز متان تجمعی درطول مدت زمان ماند (l) می‌باشد و B_0، مقدار نهایی گاز متان تجمعی درطول مدت زمان ماند (l) است. R_m، حداکثر نرخ تولید گاز متان (l/day) و λ، زمان تاخیر فاز (day) و e معادل ۲/۷۱۸۲۸۲ می‌باشند. پیش بینی مقادیر B_0، R_m و λ با استفاده از نرم افزار متلب ۸/۱ انجام گرفت. مدل غیر خطی تغییر شکل یافته گمپرتز، بر اساس حداقل کردن مقدار میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و حداکثر مقدار R^2، بین مقادیر پیش بینی شده و مقادیر اندازه گیری شده گاز متان برازش شد.

Archive of SID

www.SID.ir

یافته‌ها

تاثیر آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی بر روی خصوصیات پسماند مواد غذایی

خصوصیات پسماند مواد غذایی قبل و بعد از آماده‌سازی و در خروجی رآکتور در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱. خصوصیات پسماند مواد غذایی در آماده سازی‌های مختلف

نوع آماده سازی	TS (%,w/w)	VS (%,w/w)	SCOD/TCOD (%)	$TS_{removed}$ (%)	$VS_{removed}$ (%)
ورودی رآکتور در آزمایش شاهد	۲٤/۳۲	۲۲/۶۸	۵۵/۹۷	--------	--------
قبل از آماده سازی مایکروویو	۲٤/۱	۲۳/۱۷	۵۷/٤۳	--------	--------
بعد از آماده سازی مایکروویو	۲۳/۸۹	۲۳/۰۵	۷۷/۶۷	۰/۸٤	۰/۵
قبل از آماده سازی اتوکلاو	۲٤/۶۱	۲۲/۶۱	۵۵/۶۳	--------	--------
بعد از آماده سازی اتوکلاو	۲۲/۳۲	۲۱	۷۶/۵٤	۹/۳	۷/۱
قبل از آماده سازی مایکروویو و NaOH 5N	۲٤/۵۲	۲۳/۵۸	۵۶/۳۲	--------	--------
بعد از آماده سازی مایکروویو و NaOH 5N	۲٤/۰۱	۲۲/۹۳	۸۲/۲۵	۲/۰٤	۲/۷۵
قبل از آماده سازی اتوکلاو و NaOH 5N	۲٤/۶۳	۲۲/۷	۵۶/۱۳	--------	--------
بعد از آماده سازی اتوکلاو و NaOH 5N	۲۳/۱٤	۲۱/۰٤	۷۹/۸۳	۶/۰۱	۷/۳
خروجی رآکتور در آزمایش شاهد	۱۸/۷٤	۱۶/۹۹	۳۵/۶۹	۲۲/۹۳	۲۵/۰۶
خروجی رآکتور در آزمایش مایکروویو	۱۸/۳۲	۱۵/۲۲	۳۱/۶۷	۲۳/۳۱	۳۳/۹۵
خروجی رآکتور در آزمایش اتوکلاو	۱۷/۱۷	۱۵/۳۹	۳٤/۵٤	۲۳/۰۶	۲۶/۶۷
خروجی رآکتور در آزمایش مایکروویو با NaOH 5N	۱۸/۲٤	۱٤/۹۳	۲۲/۲۵	۲٤/۰۱	۳٤/۸۶
خروجی رآکتور در آزمایش اتوکلاو با NaOH 5N	۱۷/۷۳	۱۵/۳۳	۲۵/۸۱	۲۳/۳۶	۲۷/۱۳

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، مقادیر TS و VS بعد از آماده سازی‌های مایکروویو، اتوکلاو، مایکروویو با NaOH 5N، اتوکلاو با NaOH 5N و در خروجی رآکتور کاهش یافت. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، مقادیر $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ بعد از تمام فرآیند آماده سازی‌ها و در خروجی تمام آزمایش‌ها افزایش یافت. مقادیر کاهش TS و VS و مقادیر افزایش $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ در آماده سازی ترموشیمیایی به روش مایکروویو نسبت به سایر آماده سازی‌ها بیشتر بود. در طول مدت زمان ماند در آزمایش‌های آماده سازی شده به روش ترموشیمیایی، مقدار pH در حدود ۷/۵ توسط عامل قلیایی NaOH 5N تنظیم شد. اما در ابتدای آزمایش‌های آماده سازی شده به روش گرمایی (مایکروویو و اتوکلاو)، مقدار pH به ترتیب از ٤/۷ به ٤ و از ٤/۹ به ٤/۲ کاهش یافت و سپس مقدار pH در طول مدت زمان ماند افزایش یافت و در انتهای آزمایش‌ها به ترتیب به مقدار ۷/۱ و ۷/۳ رسید. همچنین در ابتدای آزمایش شاهد مقدار pH از ۵/۸ به ٤/۶ کاهش یافت و سپس به مقدار ۷/۲ افزایش یافت. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول۱، در همه آماده سازی‌ها، مقدار SCOD/TCOD٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. پارامتر SCOD/TCOD٪ بیانگر عملکرد فرآیند آماده سازی‌ها می‌باشد (۱۲). پارامتر SCOD/TCOD٪ نشان می‌دهد که چند درصد از پسماند مواد جامد به مواد آلی محلول در رآکتور تبدیل شده است. هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد نشان دهنده این است که مواد آلی محلول بیشتری در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرد و در نتیجه باعث افزایش تولید بیوگاز می‌شود (۳). بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، بیشترین مقدار SCOD/TCOD٪ در فرآیند آماده سازی ترموشیمیایی (به ترتیب در مایکروویو و اتوکلاوه همراه NaOH 5N) و سپس در

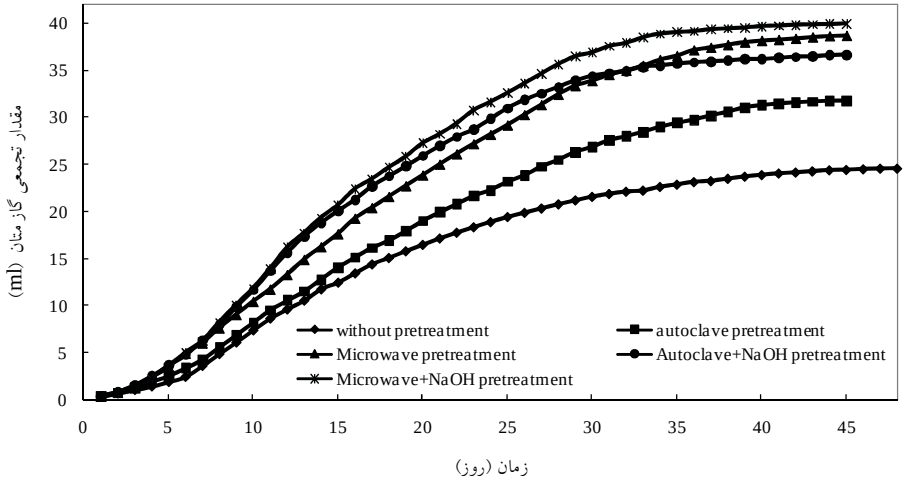
Archive of SID

www.SID.ir

فرآیند آماده سازی گرمایی (به ترتیب مـایکروویو و اتوکلاو) مشاهده شد.

مقـدار گـاز متـان تولیـد شـده در فرآینـد آمـاده سازی‌های ترموشیمیایی و گرمایی

مقادیر گاز متان تجمعی در فرآیند آماده سازی‌هـای ترموشیمیایی و گرمایی در شـکل ۲ نشـان داده شـده است.



شکل ۲. مقدار گاز تجمعی در فرآیند آماده سازی‌های ترموشیمیایی و گرمایی

بر اساس شکل ۲، بیشترین مقدار تجمعی گاز متان در مایکروویو همراه بـا NaOH 5N بـه مقـدار ۳۹/۹۸ l می‌باشد. در ایـن تحقیـق فرآینـدهای آمـاده سـازی ترموشیمیایی موجب کاهش طول مدت زمان ماند تـا ٤٥ روز شدند. مقادیر تجمعـی گـاز متـان در آمـاده سازی‌های مایکروویو، اتـوکلاو همـراه بـا NaOH 5N، اتوکلاو و شاهد به ترتیـب ۳۸/۶۶، ۳۶/۷۱، ۳۱/۸۱ و l ۲٤/٥۷ مشاهده شد. بر اساس نتایج ارائه شده شکل ۲ و جدول ۱، بیشترین گـاز متـان تجمعـی در بیشـترین مقدار SCOD/TCOD٪ در آماده سازی مـایکروویو همراه NaOH 5N و کمتـرین گـاز متـان تجمعـی در کمترین مقدار SCOD/TCOD٪ در آزمایش شـاهد حاصل شد. در این تحقیق، مقدار گاز متان تولید شده نسبت به مطالعات دیگران بیشتر بود (افـزایش تولیـد گاز متـان تـا ٤۳ درصـد). تـامپیو و همکـاران (۲۰۱٤)، پسماند مواد غذایی را اتوکلاو کردند و کاهش ٥تـا۱۰ درصدی در تولید گاز متان گزارش کردند. ساوایاما و همکاران (۱۷)، پسماند مواد غذایی را اتوکلاو کردند و موجـب افـزایش ۳۰ درصـدی در تولیـدی متـان گردیدند. مارین و همکاران، پسـماند مـواد غـذایی را مایکروویو کردند و اخـتلاف معنـی داری را در تولیـد بیوگـاز (مخلـوط گـاز متـان و دی اکسـید کـربن و گازهای ناچیز دیگر) بین بیوگاز تولید شـده بـه روش مایکروویو و بدون آماده سازی مشاهده نکردند.

مدل سینتیک تولید گاز متان

به منظور ارزیابی اثر آماده سـازی‌هـا در تولیـد گـاز متان، مدل تغییـر شـکل یافتـه گمپرتـز بـر داده‌هـای آزمایشگاهی توسط نرم افزار متلب ۸/۱ برازش شـد و مقـادیر ضـرایب B_0، R_m و λ بـا بـرازش کـردن داده‌های آزمایشگاهی با مدل تغییر شکل یافته گمپرتز تعیین شدند که این مقـادیر در جـدول ۲ ارائـه شـده است.

بر اساس نتایج جـدول ۲، زمـان تـاخیر در هضـم بـی هوازی پسماند مـواد غـذایی بـا اضـافه کـردن عامـل قلیایی در فرآیند آماده سازی ترموشـیمیایی کـاهش می‌یابد. پسماند مواد غـذایی آمـاده شـده بـه روش

Archive of SID

www.SID.ir

ترموشیمیایی (مایکروویو همراه با NaOH 5N)، کمترین مقدار λ و بیشترین مقدار R_m را در تولید گاز متان دارا می‌باشند. مایکروویو و اتوکلاو همراه NaOH 5N بیشترین عملکرد هضم بی هوازی و بیشترین مقدار SCOD/TCOD٪ را دارا می‌باشند و در نتیجه موجب تولید بیشترین مقدار گاز متان می‌شوند که با افزایش مقدار SCOD/TCOD٪، تولید گاز متان سریعتر انجام می‌شود و در نتیجه موجب کاهش مقدار λ و افزایش R_m می‌گردد. در این تحقیق، در مقایسه بین آماده سازی‌های ترموشیمیایی و گرمایی، آماده سازی‌های ترموشیمیایی بهترین تاثیر را بر روی افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ و تولید گاز متان داشتند که مطابق با نتایج لی و همکاران (۱۲) و رافیکو و همکاران (۱۸) می‌باشد.

جدول ۲. ضرایب پیش بینی شده تولید گاز متان از معادله تغییر شکل یافته گمپرتز در پیش تیمارهای مختلف در دمای ۵۵ °C

شرایط آماده سازی	مقدار پیش بینی شده B_0(l)	مقدار آزمایشگاهی B_0(l)	R_m(l/day)	λ(day)	R^2
شاهد	۲٤/۶۹	۲٤/۵۷	۱/۰۵	۳/۶	۰/۹۹۸۱
اتوکلاو	۳۳/۷۱	۳۱/۸۱	۱/۱۸	۳/۵٤	۰/۹۹۸۷
مایکروویو	٤۰/۷٤	۳۸/۶۶	۱/۵	۳/٤٤	۰/۹۹۸۹
اتوکلاو همراه با NaOH 5N	۳۷/٤	۳۶/۷۱	۱/۷۳	۳/٤	۰/۹۹۸۷
مایکروویو همراه با NaOH 5N	٤۱/۲۱	۳۹/۹۸	۱/۸	۳/۳۸	۰/۹۹۸٤

بحث

تاثیر آماده سازی‌ها بر خصوصیات پسماند

آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی موجب کاهش TS و VS و افزایش $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ می‌گردد. دوگان و همکاران (۷)، تامپیو و همکاران (۱۹) و مارین و همکاران (۸) بیان کردند که کاهش مقادیر VS و TS به دلیل این است که ذرات جامد مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و به حالت محلول در شیرآبه تبدیل می‌شوند. همچنین ذرات جامد مواد آلی در مدت زمان ماند در داخل رآکتور به ترکیبات محلول آلی تبدیل می‌شوند که بیانگر موثر بودن مرحله هیدرولیز در رآکتور LBR DF و تبدیل بیشتر ذرات مواد جامد آلی به ترکیبات محلول می‌باشد. همچنین کاهش TS و VS و افزایش $TS_{removed}$و $VS_{removed}$ به دلیل تخریب ساختار ذرات مواد جامد بوسیله تابش مایکروویو و اتوکلاو می‌باشد که با افزایش دما و افزایش فشار داخلی سلول‌ها موجب تخریب ذرات جامد می‌گردند و ساختارهای پیچیده و بلند را به ساختارهای کوچکتر تبدیل می‌کنند و موجب آزاد سازی آنزیم‌ها و ترکیبات آلی از پروتوپلاسم می‌شوند (۲۰). تجزیه ذرات جامد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در طول زمان ماند موجب افزایش مقادیر $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ می‌گردد (۷). همچنین دمای ترموفیلیک هضم بی هوازی نیز باعث افزایش مقدار $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ می‌شود، زیرا جمعیت باکتری‌ها در دمای ترموفیلیک دو تا سه برابر مزوفیلیک است و در نتیجه مقدار تجزیه مواد آلی و تولید گاز متان نیز افزایش می‌یابد (۲۱). pH به عنوان فاکتور موثر در همه مراحل هضم بی هوازی است که به عنوان یک شاخص در پایداری رآکتور بیان می‌شود. در آزمایش آماده سازی‌های گرمایی و شاهد، ابتدا مقادیر pH کاهش و سپس افزایش یافت. این مقدار کاهش pH در ابتدای آزمایش‌ها را می‌توان به تجزیه مولکولهای بزرگ (اُلیگوساکاریدها و آمینو اسیدها) و تبدیل به ترکیبات اسیدی نسبت داد که موجب شتاب دهی به مرحله اسید سازی فرآیند هضم بی هوازی می‌گردد (۹-۲۲). همچنین ترکیبات پسماند مواد غذایی که شامل ضایعات میوه‌هایی که خاصیت اسیدی دارند، موجب کاهش مقدار pH

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود (۷). افزایش مقدار pH را می‌توان به تجزیه پروتئین‌ها و تجزیه ترکیبات اسیدی و تبدیل آنها به استات نسبت داد (۱۱). آماده سازی‌های ترموشیمیایی و گرمایی، دیواره سلولی پسماند مواد غذایی و سبزیجات را به دلیل افزایش دما و افزایش فشار داخلی سلولها تخریب می‌کند و موجب افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ می‌گردد (۲۳). تامپیو و همکاران (۱۹) بیان کردند که اتوکلاو پسماند مواد غذایی، موجب افزایش مقدار SCOD گردید. مایکروویو و اتوکلاو نیروهای واندروالسی و پیوندهای هیدروژنی بین مولکولها را ضعیف می‌کند و موجب افزایش ترکیبات محلول (پروتئین‌ها و قندهای محلول) در شیرآبه می‌گردد که براحتی توسط میکروارگانیسم‌های تولید کننده گاز متان مصرف می‌شوند (۸). همچنین افزایش دمای فرآیند آماده سازی بیشتر از100 °C، موجب تبخیر ترکیبات آلی فرار می‌شود که باعث کاهش مقدار SCOD می‌شود (۲٤). در این تحقیق دمای شیرآبه و مواد جامد پسماند آماده سازی شده توسط مایکروویو و مایکروویو همراه NaOH 5N، کمتر از 100 °C بود که از تبخیر ترکیبات آلی فرار و کاهش مقدار SCOD جلوگیری شد.

تاثیر آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی بر روی عملکرد تولید متان

آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی موجب افزایش تولید گاز متان گردید. هچنین ماهنرت و همکاران (۲۵) بیان کردند که فرآیند آماده سازی موجب کاهش مدت زمان ماند می‌گردد، هر چند طول مدت زمان ماند باید به اندازه کافی باشد تا ذرات پسماند به اندازه کافی تجزیه شوند. بر اساس شکل ۲، در ابتدا مقدار تجمعی گاز متان کم بود ولی با گذشت زمان ماند، این مقدار افزایش یافت. این افزایش به دلیل این است که آماده سازی‌های ترموشیمیایی و گرمایی سرعت هیدرولیز مواد آلی را افزایش می‌دهند و دیواره سلولی پسماند را تخریب می‌کنند و موجب آزاد سازی آنزیم‌ها و ترکیبات آلی محلول در پروتوپلاسم سلول و افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ می‌گردند که در نتیجه مصرف آسان و افزایش قابلیت دسترسی ترکیبات محلول را برای باکتری‌ها فراهم می‌کنند که موجب افزایش گاز متان می‌گردد (۲۷- ۲۶- ۸). از دلایل کاهش مقدار تجمعی گاز متان در فرآیند آماده سازی‌های مختلف نسبت به آماده سازی مایکروویو همراه NaOH 5N می‌توان به روش مکانیسم آماده کردن و ترکیبات مقاوم و نامطلوب در برابر تجزیه شدن مانند اسیدهای کربوکسیلیک و ترکیبات فنولیک اشاره کرد (۲۸). همچنین آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی موجب کاهش مقدار λ و افزایش مقدار R_m می‌شود که به افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ نسبت داده می‌شود که این پارامتر بعد از آماده سازی ترموشیمیایی نسبت به آماده سازی‌های دیگر افزایش یافت. افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ موجب افزایش باکتری‌های متان‌ساز و تولید گاز متان می‌گردد (۱۲-۲۷).

نتیجه گیری

آماده سازی‌های گرمایی و ترموشیمیایی موجب افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ و تولید گاز متان گردید. آماده سازی ترموشیمیایی (به ترتیب مایکروویو و اتوکلاو همراه NaOH 5N) در مقایسه با آماده سازی‌های دیگر و آزمایش شاهد، موجب افزایش مقدار SCOD/TCOD٪ و تولید گاز متان و افزایش مقدار $TS_{removed}$ و $VS_{removed}$ می‌شود. در آماده سازی ترموشیمیایی، دسترسی آسان میکروارگانیسم‌ها به ترکیبات آلی محلول، موجب کاهش λ و افزایش R_m و در نهایت افزایش عملکرد هضم بی هوازی و تولید گاز متان می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

تشکر و قدردانی

این تحقیق از پایان نامه مقطع دکتری با شماره ثبت ۱۱۶۹۶۸۳ است. بدین وسیله نویسندگان این مقاله از ریاست محترم دانشکده بهداشت دانشگاه علوم‌پزشکی همدان جهت آنالیز مقادیر SCOD و TCOD و ریاست محترم شرکت گاز همدان جهت آنالیز بیوگاز تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1-Kiran EU, Trzcinski AP, Jern, NgW, Liu Y. Bioconversion of food waste to energy: A review. Fuel. 2014; 134: 389–399.

2-Lim SJ, Kim BJ, Jeong CM, Choi JDR, Ahn YH, Chang HN, et al. Anaerobic organic acid production of food waste in once-a-day feeding and drawing-off bioreactor. Bioresource Technology. 2008; 99: 7866–7874.

3-Ariunbaatar J, Panico A, Yeh DH, Pirozzi F, Lens PNL, Esposito G, et al. Enhanced mesophilic anaerobic digestion of food waste by thermal pretreatment: Substrate versus digestate heating. Waste Management. 2015; 46: 176–181.

4-Lehtomäki S, Huttunen TM, Lehtinen JA, Rintala J. Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production. Bioresource Technology. 2008; 99: 3267–3278.

5-Tampio E, Ervasti S, Rintala J. Characteristics and agronomic usability of digestates from laboratory digesters treating food waste and autoclaved food waste. Journal of Cleaner Production. 2015; 94: 86-92.

6-Koppar A, Pullammanappallil P. Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. Bioresource Technology. 2008; 99: 2831–2839.

7-Dogan E, Dunaev T, Erguder TH, Demirer GN. Performance of leaching bed reactor converting the organic fraction of municipal solid waste to organic acids and alcohols. Chemosphere. 2008; 74(6): 797-803.

8-Marin J, Kennedy KJ, Eskicioglu C. Effect of microwave irradiation on anaerobic degradability of model kitchen waste. Waste Management. 2010; 30: 1772–1779.

9-Shahriari H, Warith M, Hamoda M, Kennedy KJ. Evaluation of single vs. staged mesophilic anaerobic digestion of kitchen waste with and without microwave pretreatment. Journal of Environmental Management. 2013; 125: 74-84.

10-Menardo S, Balsari P, Dinuccio E, Gioelli F. Thermal pre-treatment of solid fraction from mechanically-separated raw and digested slurry to increase methane yield. Bioresource Technology. 2011; 102: 2026–2032.

11-Bougrier C, Delgenès JP, Carrère H. Impacts of thermal pre-treatments on the semi-continuous anaerobic digestion of waste activated sludge. Biochemical Engineering Journal. 2007; 34, 20–27.

12-Li C, Champagne P, Anderson BC. Effects of ultrasonic and thermo-chemical pre-treatments on methane production from fat, oil and grease (FOG) and synthetic kitchen waste (KW) in anaerobic co-digestion. Bioresource Technology. 2013; 130: 187–197.

13-APHA. Standard methods for the test of water and wastewater, 19th ed. American. Public. Health. Association, Washington, DC, USA, 1995.

14-Xu SY, Lam HP, Karthikeyan OP, Wong JWC. 2011. Optimization of food waste hydrolysis in leach bed coupled with methanogenic reactor: Effect of pH and bulking agent. Bioresource Technology 102(4): 3702-8.

15-Syaichurrozi I, Budiyono, Sumardiono S. Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: Biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. Bioresource Technology. 2013; 149: 390–397.

16-Wang X, Zhang L, Xi B, Sun W, Xia X, Zhu C, He X, Li M, Yang T, Wang P, Zhang Z, et al. Biogas production improvement and C/N control by natural clinoptilolite addition into anaerobic co-digestion of Phragmites australis, feces and kitchen waste. Bioresource Technology 2015; 180: 192–199.

Archive of SID

www.SID.ir

17-Sawayama S, Inoue S, Minowa T, Tsukahara K, Ogi T. Thermochemical liquidization and anaerobic treatment of kitchen garbage. J. Ferment. Bioeng. 1997; 83 (5): 451–455.
18-Rafique R, Poulsen TG, Nizami A, Asam Z, Murphy JD, Kiely G. Effect of thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatments to enhance methane production. Energy. 2010; 35: 4556–4561.
19-Tampio E, Ervasti S, Paavola T, Heaven S, Banks C, Rintala J, et al. Anaerobic digestion of autoclaved and untreated food waste. Waste Management. 2014; 34: 370–377.
20-Cheng XY, Liu CZ. Enhanced biogas production from herbal-extraction process residues by microwave-assisted alkaline pretreatment. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2010; 85: 127–131.
21-Cecchi F, Pavan P, Mata-Alvarez J, Bassetti A, Cozzolino C. Anaerobic digestion of municipal solid waste: Thermophilic vs. mesophilic performance at high solids. Waste Management Research. 1991; 9: 305-315.
22-Papadimitriou EK. Hydrolysis of organic matter during autoclaving of commingled household waste. Waste Management. 2010; 30: 572–582.
23-Demirer GN, Chen S. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. Process Biochemistry. 2005; 40: 3542–3549.
24-Kuglarz M, Karakashev D, Angelidaki I. Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants. Bioresource Technology. 2013; 134: 290–297.
25-Mähnert P, Linke B. Kinetic study of biogas production from energy crops and animal waste slurry: effect of organic loading rate and reactor size. Environmental Technology. 2008; 30(1): 93-99.
26-Marin J, Kennedy KJ Eskicioglu C. Enhanced solubilization and anaerobic biodegradability of source-separated kitchen waste by microwave pretreatment. Waste Managment & Research. 2011; 29(2): 208–218.
27-Fdez.-Guelfo LA, Alvarez-Gallego C, Sales D, Romero LI. The use of thermochemical and biological pretreatments to enhance organic matter hydrolysis and solubilisation from organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Chemical Engineering Journal. 2011; 168: 249–354.
28-Taherzadeh MJ, Karimi K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. International Journal of Molecular Sciences. 2008; 9(9): 1621–1651.

Archive of SID

www.SID.ir