علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هفت، مهرماه ۹۹

تولید بیوگاز از ضایعات کارخانه چغندرقند در یک سیستم فرا انباشته با تنظیم pH

میثاق کرامتی [۱]

حسین بیکی [۲*]

hbeiki@qiet.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۲ **تاریخ پذیرش:۹۶/۸/۳**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اهمیت حفظ محیط زیست و ضرورت استفاده از انرژی‌های نو، در این پژوهش با استفاده از یک بیوراکتور ناپیوسته تولید گاز متان از ضایعات کارخانه چغندر قند مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است.

روش بررسی: آزمایش‌ها به کمک یک حمام آبگرم در دمای ثابت ^{o}C ۳۷ انجام می‌شوند. چهار راکتور با ورودی های یکسان در حمام آبگرم بارگذاری شده است. در چهار راکتور همه پارامتر ها ثابت است و تنها pH راکتورها در چهار روز آغازین بر روی مقادیر ۷، ۸ و ۹ ثابت نگه داشته می‌شود. نسبت سوبسترا به ماده تلقیحی مورد استفاده در راکتورها ۶ به ۱ (۶:۱) می‌باشد.

یافته‌ها: در یک سیستم فراانباشته با نسبت بسیار بالای سوبسترا به ماده تلقیحی، به‌دلیل افت شدید pH نمی‌توان انتظار تولید بیوگاز داشت. در حالی که به کمک تنظیم pH می‌توان حتی برای چنین سیستمی به تولید بیوگاز رسید، اگرچه راندمان سیستم پایین می‌آید.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که با تنظیم و کنترل pH در راکتورها، حتی در شرایط نسبت بسیار بالای سوبسترا:ماده تلقیحی، متان با غلظت بین ۳۵ تا ۵۰ تولید می‌شود. تولید بیوگاز در راکتورها با تاخیر زمانی زیادی همراه بود، به طوری که تا چهاردهمین روز گاز تولیدی ناچیز بود. راکتور تنظیم شده در pH برابر با ۸، حجم بیوگاز بیش‌تری تولید می‌کند. این در حالی است که گاز حاصله از راکتور تنظیم شده در pH برابر با ۹ از خلوص متان بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: بیوگاز، هضم بی‌هوازی، ضایعات چغندر قند، تنظیم pH

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران.*(مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.7, October, 2020

Biogas Production from Sugar Beet Wastes in an Overload Bioreactor with pH Adjustment

Misagh Keramati[1]
Hossein Beiki[2]*
hbeiki@qiet.ac.ir

Admission Date:October 25, 2017 Date Received: April 1, 2017

Abstract

Background and Objective: Considering the importance of environmental protection and necessity of using new energy sources and innovative fuels, in this study, biogas production from sugar beet wastes using a batch lab-scale bioreactor was investigated experimentally.

Method: All experiments were done at constant temperature of 37±1 ^{o}C with using water bath. Four reactors with the same feed concentration and condition put in a circulated water bath. pH was adjusted in the reactors for the first 4 days on 7, 8 and 9. Substrate to inoculum (S/I) ratio in the reactors was constant and equal to 6:1.

Finding: In the over load mono-digester system with high S/I ratio, due to the sharp drop in pH, biogas couldn't be produced. By adjusting the pH, even for such a system, biogas production can be achieved, although the efficiency of the process is low.

Discussion and Conclusion: The results revealed that, whilst biogas was not produced in the reactor with high S/I ratio, pH adjustment made it possible to generate biogas. Mole fraction of methane in biogas produced in the reactors with pH adjustment were 35-50%. Biogas production occurred with long time delay, so that after 14 days, very little or no biogas was produced. Maximum volume of biogas was produced in reactor with pH=8. Whilst in the reactor with pH=9, biogas produced with high methane purity.

Keywords: Biogas, Anaerobic Digestion, Sugar Beet Wastes, pH Adjustment.

1- M.Sc., Student, Chemical Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran
2- Assistant Prof., Department of Chemical Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran.
*(*Corresponding Auther*)

مقدمه

با رشد جمعیت و افزایش تقاضای برای مواد غذایی، کشورها با مقادیر ضایعات و دور ریختنی‌های بیش‌تری مواجه هستند. این مشکل به خصوص در کارخانه های مواد غذایی مانند کارخانه های قند و شکر نمود بیش‌تری پیدا می‌کند. تنها در ایران ۲۸ کارخانه ی تولید قند و شکر وجود دارد که با تولید ۱۰۴۹۰۰۰ تن شکر، بیش از ۶۰٪ نیاز سالانه کشور را تأمین می‌کند. تنها در سال ۹۴ بیش از ۵/۵ میلیون تن چغندر از کشاورزان خریداری شده است (۱). این حجم زیاد چغندر قند خریداری شده منجر به تولید ضایعات زیادی می‌شود. روش های سنتی مواجه با این ضایعات استفاده از آن به عنوان خوراک دام یا رها کردن آن در محیط زیست می‌باشد. این در صورتی است که گزینه های بهتری برای استفاده از این دور ریختنی با ارزش وجود دارد.

با توجه به محدود بودن منابع انرژی فسیلی، یافتن منابع انرژی تجدید و دوست‌دار محیط زیست یک ضرورت به حساب می‌آید. مطالعاتی بر روی یافتن سوخت ها و منابع جدید انرژی انجام شده است (۲) که سهم بزرگی از این پژوهش‌ها بر تولید بیوگاز از ضایعات مواد غذایی متمرکز شده است (۷-۳).

فرآیند هضم بی‌هوازی به عنوان یک فرآیند جذاب شناخته شده است که می توان طی آن ضایعات جامد مانند ضایعات غذایی، فضولات دامی و زباله های شهری را به ماده ای با ارزش افزوده بیش‌تر به نام بیوگاز تبدیل کرد (۳). استفاده از فرایند هضم بی هوازی در عین حالی که آلودگی های کشاورزی و صنعتی را کاهش می دهد، مصرف سوخت های فسیلی را نیز متعادل می-کند.

از طرفی دیگر چغندر قند با داشتن زیست تخریب پذیری خوب، درصد بالای شکر و نسبت کربن به ازت مناسب به عنوان ماده زمینه خوبی برای تولید بیوگاز به وسیله هضم بی‌هوازی گزارش شده است (۸-۴).

شدت تولید متان در هر لیتر راکتور، در مطالعه‌ای از ترکیب چغندر قند با فضولات حیوانی حدود ۲/۹۱ L گزارش شده است (۴). در مرجع دیگری جهت تولید بیوگاز بیش‌تر، به طور هم‌زمان از چغندر قند با فاضلاب کارخانه شکر در یک فرآیند هضم بی‌هوازی استفاده شده است (۵). فانگ و همکاران[1] نشان دادند که استفاده از مشتقات چغندر قند مانند، برگ‌های چغندر قند، پالپ چغندر قند و ملاس آن همراه با کود گاوی، به راحتی تخریب و تولید بیوگاز می‌کنند (۶). هاتنن و همکاران[2] تولید بیوگاز از پالپ چغندر قند را در یک فرآیند بی هوازی دو مرحله ای بررسی کردند. پالپ های خشک شده چغندر قند به شکل استوانه های با قطر ۸-۹و طول ۱۰-۴۰ میلی متر مورد استفاده قرار گرفتند. مرحله اول فرآیند، شامل اسید سازی و هیدرولیز می‌باشد که در یک محفظه مجزا انجام می‌پذیرفت. در این مرحله ۱۰ گرم پالپ به همراه ۳۰۰ میلی لیتر آب هیدرولیز و اسیدی می‌شود. سریع‌ترین هیدرولیز به وسیله آنزیم اس پی ۵۸۴ صورت پذیرفت. آنها نشان دادند که ۴ روز زمان ماند برای هیدرولیز و اسیدی سازی زمان بهینه است (۷).

پژوهش‌هایی بر هضم بی‌هوازی پالپ چغندر قند انجام شده است (۷-۳)، ولی مطالعه‌ای در رابطه با هضم بی‌هوازی ضایعات چغندر قند در منابع وجود ندارد. منظور از ضایعات چغندر قند قسمت های برش خورده از سر و ته آن است که وارد فرآیند استخراج شکر نمی‌شود و معمولا به عنوان خوراک دام استفاده شده یا این‌که مستقیما در محیط زیست رها می‌شود.

یکی از مشکلات اصلی گزارش شده در منابع موجود در زمینه هضم بی‌هوازی ضایعات صنایع غذایی، افت شدید pH در روزهای آغازین فرآیند است که باعث تولید بیوگاز کمتر می‌شود و متان‌سازی را مهار می‌کند (۹, ۱۰). یانگ و همکارانش[3] اثر تنظیم pH را بر روی تولید بیوگاز از ضایعات مواد غذایی در راکتور های ۵۰۰ میلی لیتری بررسی کرد. آن ها با تنظیم pH بر روی مقادیر ۷، ۸ و ۹ در ۵ روز آغازین واکنش اعلام کردند که این عمل تولید بیوگاز را افزایش می دهد. بالاترین بازه تولید و درصد خلوص متان با تنظیم pH بر روی ۸ بدست آمد که این مقادیر به‌ترتیب ۷/۵۷ و ۵/۰۶ برابر نمونه ی شاهد بودند

1- Fang et al.
2- Hutnan et al.
3- Yang et al.

(۸). در این پژوهش با تنظیم pH در روزهای اولیه فرآیند بر روی مقادیر ۷، ۸ و ۹ اثر آن برروی یک سیستم با نسبت ماده زمینه:ماده تلقیحی (S/I) ورودی بالا بررسی شده و pH تنظیم شده مناسب گزارش شده است.

مواد و روش ها

با توجه به در دسترس نبودن چغندر قند در همه ماه های سال، جهت انجام آزمایش‌ها چغندر قند در کل سال انبار شد. جهت حفظ کیفیت چغندر قند انبار شده، چغندر قندها در ۴ ^{o}C نگهداری شدند. انبار کردن چغندر قند در دمای ۴ ^{o}C تأثیر ناچیزی بر روی توانایی آن برای تولید بیوگاز دارد (۴, ۱۱). در آزمایش از چغندر قند ۳ ماه انبار شده استفاده شد. چغندر قند ابتدا شست و شو و سپس سر و ته آن (همانند فرآیند آماده سازی در کارخانه قند و شکر) بریده شد. سپس پیش از بارگذاری در راکتورها، قسمت‌های بریده شده به تکه‌های کوچک با ابعاد کم‌تر از ۱ سانتی متر تقسیم شدند.

لجن بی‌هوازی از تصفیه خانه قوچان واقع در شهر صنعتی این شهر تهیه شد. خواص فیزیکوشیمیایی ماده تلقیحی و ماده زمینه در جدول ۱ ارایه شده است.

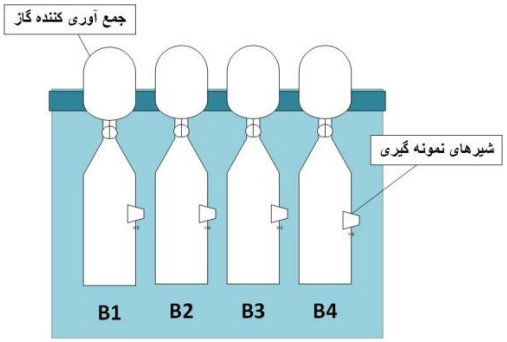
جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماده زمینه و ماده تلقیحی

Table 1. Physiochemical characteristics of substrate and inoculum

	TS (mg/L)	DM (%)	VS(mg/L)	VS (%)
ضایعات چغندر قند	-	۴۴	-	۹۶
لجن بی‌هوازی	۲۴۵۰۰	-	۱۴۳۰۰	۵۸

دستگاه آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش

شماتیکی از سیستم آزمایشگاهی در شکل نشان داده شده است. سیستم آزمایشگاهی شامل یک حمام آبگرم که مجهز به پمپ گردش آب و ترموستات می‌باشد. در حمام آب ۴ راکتور قرار داده می‌شود که در شکل برای نمونه با نام‌های B1 تا B4 مشخص شده‌اند. راکتورهای استفاده شده در آزمایش، بطری های پلاستیکی با حجم مشخص ۵۰۰ ml می‌باشند. سوراخی در بدنه هر بطری به منظور انجام نمونه گیری از مایع درون راکتورها، ایجاد شده است. این سوراخ ها سپس به وسیله چسب آکواریوم پوشانده شد و راکتورها کاملا آب بندی شدند. به این ترتیب نمونه برداری از فاز مایع درون راکتورها در هر زمانی امکان پذیر بود بدون این‌که سیستم در معرض محیط پیرامون قرار بگیرد و از حالت آب بندی شده خارج شود.



شکل ۱- نمای شماتیک یک حمام آب و ۴ راکتور درون آن

Fig 1. Experimental Setup, one bath with four reactors

۳۰۰ ml ماده تلقیحی به همراه ۲۵/۶ g ماده زمینه با نسبت ماده زمینه:ماده تلقیحی بالای ۶:۱ درون راکتور بارگذاری شد. هدف از انتخاب نسبت بالا، بررسی اثر تنظیم pH بر تولید گاز در یک سیستم بیش از بار بود. pH به وسیله ی اضافه کردن سدیم هیدروکسید و هیدروکلریدریک اسید ۲ مولار طی ۴ روز

آغازین واکنش تنظیم شد (۹). همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، pH راکتورها بر روی ۷، ۸ و ۹ تنظیم شدند. همچنین در هر حمام آب یک نمونه‌ی شاهد بدون تنظیم pH نیز وجود دارد. تمامی راکتورها روزانه صد دور به صورت دستی و با ریتم منظم هم زده می‌شدند. به منظور خارج کردن هوای درون راکتورها همه راکتورها در آغاز واکنش به مدت ۲ دقیقه با گاز آرگون هوا زدایی شدند. با توجه به این‌که در محدوده دمایی مزوفیلیک[1] تولید بیوگاز با خلوص بیش‌تری رخ می‌دهد و همچنین در این محدوده دمایی راکتورها می‌توانند در نرخ خوراک ورودی بالاتری تولید بیوگاز داشته باشند (۱۲)، دمای حمام آب بر روی ^{o}C ۱±۳۷ تنظیم شد. به منظور اطمینان از دقت آزمایش، سه حمام آب هم‌زمان آزمایش را تکرار می‌کردند.

جدول ۲- مشخصات راکتورها

Table 2. Specifications of the reactors

راکتور بسته (batch)	S/I ratio	pH تنظیم شده
B_1, B_5, B_9	۶:۱	بدون تنظیم
B_2, B_6, B_{10}	۶:۱	۷
B_3, B_7, B_{11}	۶:۱	۸
B_4, B_8, B_{12}	۶:۱	۹

TS و VS بر اساس روش های استاندارد (۱۳) اندازه گیری شد. نمونه‌های مایع از همه راکتورها به‌صورت روزانه گرفته و pH هر راکتور در هر روز ثبت می‌شد. نمونه‌های گاز جمع آوری شده با توجه به تولید گاز، توسط دستگاه Portable Gas Detector (آنالیزور گازی، انگلستان) آنالیز و درصد متان آن ثبت می‌شد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی دقت اندازه‌گیری‌ها و اعتبار سنجی، آزمایش‌ها با سه بار تکرار انجام شدند. سپس مقادیر حداکثر و متوسط انحراف معیار استاندارد (STD) حساب شدند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین انجراف استاندارد برای pH و حجم گاز اندازه گیری شده به ترتیب کم‌تر از ۲٪ و ۱۵٪ است. این مقادیر انحراف استاندارد تطابق خوبی را بین داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند. همچنین نشان دهنده تکرار پذیر بودن آزمایش‌ها می‌باشد.

pH به عنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده برای پایداری هاضم‌های بی‌هوازی معرفی شده است (۱۴). کاهش pH به عنوان یک عامل مهم شناخته شده است که می تواند مانع فرآیند متان‌سازی شود و در نتیجه بیوگاز کم‌تری تولید شود (۱۰, ۱۵, ۱۶). یانگ و همکارانش (۹) بیان کردند که با تنظیم pH در روزهای اولیه فرآیند هضم بی‌هوازی بازده تولید متان و بیوگاز از ضایعات صنایع غذایی افزایش پیدا می‌کند. از طرفی دیگر، حداقل مقدار pH برابر با ۶/۵ به منظور انجام فرآیند متان‌سازی در یک هضم بی‌هوازی مورد نیاز است (۱۷). بنابراین pH های راکتورها بر روی مقادیر ۷، ۸ و ۹ در ۴روز اولیه آزمایش تنظیم شد. همچنین به منظور مقایسه بازده متان سازی، نمونه چهارمی در هر حمام آب با مشخصات یکسان و تنها عدم تنظیم pH به عنوان نمونه شاهد قرار داده شد.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود با تنظیم pH در روزهای آغازین فرآیند هضم بی‌هوازی pH راکتورهای تنظیم شده تا پایان فرآیند در محدوده بهینه قرار گرفت. در تمامی نمونه‌ها افت شدید pH در روزهای نخستین فرآیند مشاهده می‌شود. این افت به‌دلیل تبدیل شدید ماده زمینه به اسیدهای چرب فرار (VFA) می‌باشد. گرچه راکتورهای تنظیم pH شده توانایی بازیابی و بازگشت به محدوده مناسب برای فعالیت متان‌سازی را داشتند. ولی به‌دلیل نسبت بالای S/I نمونه بدون تنظیم pH نتوانست تولید بیوگاز داشته باشد. نمونه‌های بدون تنظیم pH به طور بازگشت ناپذیری اسیدی شدند و در نتیجه از بین رفتن میکروارگانیسم های متان ساز، توانایی تولید بیوگاز را از دست دادند. با توجه به شکل ۲، راکتور های تنظیم pH شده از روز ۱۴ ام به پایداری رسیده اند و قادر به تولید بیوگاز شده‌اند.

تولید تجمعی بیوگاز از ضایعات کارخانه چغندر قند در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با تنظیم pH اولیه، تمام راکتورها توانستند میزان قابل توجهی بیوگاز تولید کنند. بیش‌ترین میزان بیوگاز تولید شده در راکتورهای با

1- Mesophilic

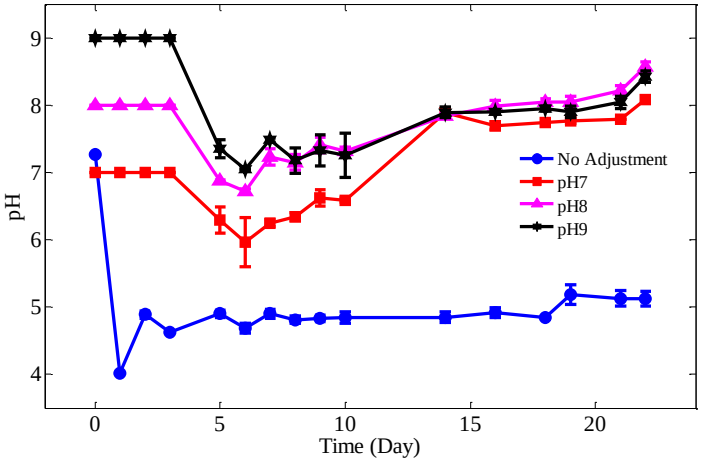
pH تنظیم شده بر ۸ دیده می‌شود. گرچه تفاوت بین حجم تولیدی در مورد pH تنظیمی بر روی مقادیر ۷ و ۸ اندک است، ولی با لحاظ کردن درصد متان بدست آمده از راکتور های تنظیم شده بر روی pH ۷ و ۸، بیش‌ترین بازده تولید متان را در راکتورهای تنظیم شده بر روی pH، ۸ مشاهده می‌شود. از این رو تنظیم pH بر روی ۸ در روزهای آغازین فرآیند هضم بی هوازی پیشنهاد می‌شود. همچنین این نتایج با نتایج بدست آمده از پژوهش آزمایشگاهی یانگ و همکارانش (۹) مطابق است.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، راکتورهای تنظیم شده تا روز ۱۴ ام به پایداری نرسیدند. در شکل ۳ نیز واضح است که تولید بیوگاز از روز ۱۴ ام شروع شده است، که به رابطه بین پایداری سیستم هاضم و فعالیت متان‌سازی آن اشاره می‌کند. دلیل این زمان ماند نسبتا طولانی نسبت S/I ورودی بالا و فرا انباشته بودن سیستم هاضم می‌باشد.

جدول ۳ - مقادیر میانگین و حداکثر STD

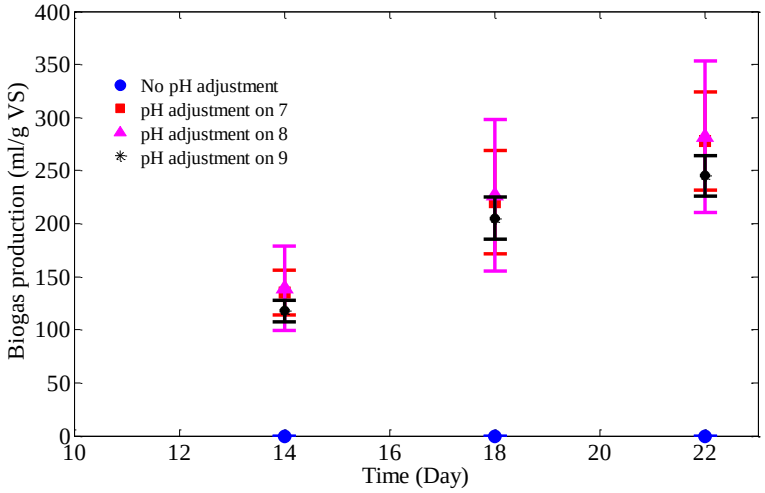
Table 3. Average and maximum STD

نمونه ها	STD میانگین (٪)	STD حداکثر (٪)
بدون تنظیمpH	۱/۴۵	۳/۱۶
pH7	۱/۴۷	۶/۵۲
pH8	۱/۶۷	۲/۷۳
pH9	۱/۵۳	۴/۵۷
بیوگاز تولیدی از نمونه با تنظیم pH بر روی ۷	۱۴/۰۸	۱۶/۷۵
بیوگاز تولیدی از نمونه با تنظیم pH بر روی ۸	۱۱/۳۴	۱۸/۱۹
بیوگاز تولیدی از نمونه با تنظیم pH بر روی ۹	۸/۷۰	۱۰/۰۲



شکل ۱- نمودار تغییرات pH در طول واکنش

Figure 2. Change of pH during anaerobic digestion process



شکل ۳- تولید تجمعی بیوگاز از ضایعات چغندر قند

Figure 3. Cumulative biogas production from SBW

در این آزمایش چغندر قند به عنوان تنها ماده زمینه استفاده شده است. این ماده زمینه ارزان، کمبود مواد مغذی مانند فسفر و نیتروژن دارد (۱۱)، بنابراین انتظار نمی‌رود درصد متان بدست آمده از آن بالا باشد. از طرفی دیگر ناپایداری سیستم به دلیل مقدار بالای مواد ارگانیک منجر به از دست رفتن میکروارگانیسم‌های متان‌ساز شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تنظیم pH تاثیر به‌خصوصی در متوسط غلظت بیوگاز نداشته است. روی هم رفته، حداکثر جزء متان بدست آمده با تنظیم pH بر روی ۹ می‌باشد. بیوگاز تولیدی همچنین عاری از هرگونه H_2S می‌باشد و این امر یک مزیت بزرگ برای کیفیت بیوگاز تولیدی است. در جدول ۵ مقایسه‌ای بین پژوهش حاضر با مطالعات انجام شده در زمینه تولید بیوگاز از پالپ چغندر قند (خروجی کارخانه تولید قند) ارایه شده است.

از جدول ۵ نتیجه می‌شود که، با تنظیم pH می‌توان در مدت زمان ماند کم‌تری به خلوص مشابه (۱۹) دست یافت. همچنین وجود هم‌زن و دور آن تاثیر چندانی بر تولید بیوگاز و خلوص آن ندارد.

جدول ۴- متوسط و حداکثر جزء متان بدست آمده از هر راکتور

Table 4. Average and maximum methane content acquired from each reactor

راکتور بسته (batch)	متوسط جزء متان (٪)	حداکثر جزء متان (٪)
B_1	۰	۰
B_2	۲۹/۸۴	۴۲/۸۲
B_3	۳۱/۲۲	۳۴/۵۴
B_4	۳۳/۶۵	۵۸/۷۵
B_5	۰	۰
B_6	۳۸/۸	۴۲/۵
B_7	۳۲/۴۵	۴۲/۶۸
B_8	۴۲/۷۶	۴۶/۸۸
B_9	۰	۰

B_{10}	۳۱/۷	۳۹/۴۴
B_{11}	۳۳/۳۹	۴۵/۵
B_{12}	۴۱/۱۵	۵۶/۴

جدول ۵- مقایسه بین کار حاضر با پژوهش‌های انجام شده در زمینه تولید یوگاز از پالپ چغندر قند

Table 5. Results of this work compared with the literatures

پژوهشگر	شرایط عملیاتی					حجم گاز تولیدی (mL/g VS) (درصد خلوص)
	دما (^oC)	دور همزن	pH	حجم مخزن (L)	زمان ماند (روز)	
ابودی و همکاران (۴)	۳۵	۱۲ دور بر دقیقه	۵/۳± ۱/۱	۱۰	۲۰	۲۱۴/۶۴± ۶/۱۲ (۵۵/۲۲±۴/۷۶)
هاتنن و همکاران (۷)	۳۵	بدون همزن	۴-۴/۵	۴	۲۳-۶۷	۵۰۴/۱ (۷۱/۹)
هاتنن و همکاران (۱۸)	۳۷/۱	بدون همزن	۷/۵-۶/۵	۳۵۰۰	۲۷	۰/۵ m^3/kg dried pulp (۶۰-۷۰)
سوهارتینی و همکاران (۱۹)	۳۷ ۵۵	۱۱۰۰ دور بر دقیقه	۷/۴۹ ۷/۷۳	۴	۳۰	۵۵۴ (٪۵۳) ۵۴۹ (٪۵۲)
کار حاضر	۳۷	۱۰۰ دور بر روز	۸ ۹	۰/۵	۲۲	۲۸۲/۱۵ (۴۰/۹۱) ۲۵۴/۱۶ (۵۴/۰۱)

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از یک روش ساده و سیستم آزمایشگاهی ارزان قیمت تولید بیوگاز از ضایعات چغندر قند و اثر تنظیم pH بر میزان تولید بیوگاز و خلوص آن در شرایط فرا انباشته مورد بررسی قرار گرفت. ضایعات چغندر قند در واقع بخش‌هایی از چغندر قند می‌باشند که تحت عملیات استخراج قند در کارخانه قرار نمی‌گیرند. نتایج نشان داد که در یک سیستم فرا انباشته با نسبت S/I بالا به‌دلیل افت شدید pH نمی‌توان انتظار تولید بیوگاز داشت. با تنظیم pH در روزهای آغازین واکنش شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های متان‌ساز فراهم شد. به‌دلیل عدم تناسب بین تولید و مصرف اسیدهای چرب فرار سیستم تا مدت زیادی ناپایدار بود و عملا" تولید بیوگاز از روز ۱۴ ام شروع شد. به‌دلیل ناپایداری سیستم برای مدت طولانی و بار آلی بالا، سهم قابل توجهی از فعالیت-های متان‌سازی کاسته شد و در نتیجه خلوص متان بدست آمده کم‌تر از انتظار بود. اگرچه با تنظیم pH، یک سیستم فرا انباشته مجبور به تولید بیوگاز شد، ولی به‌دلیل بازده نسبتا پایین تولید متان این راه حل به جز در موارد خاص پیشنهاد نمی‌شود. راکتوری که بر روی pH برابر با ۸ تنظیم شده بود حجم بیوگاز بیش‌تری نسبت به دیگر راکتورها تولید می‌کند. این در حالی است که بیوگاز حاصله از راکتور تنظیم شده در pH برابر با ۹ از خلوص متان بالاتری نسبت به دیگر راکتورها برخوردار است.

Reference

1. Syndicate, I.S.F. *Iranian Sugar Factories Syndicate*. 2015 [cited 2015; Available from: www.isfs.ir.
2. Beiki, H., M. Dadvar, R. Halladj, 2009, Pore network model for catalytic dehydration of methanol at particle level, AIChE Journal. Vol. 55(2), pp. 442-449.
3. Beiki, H., Keramati, M., 2019, Improvement of methane production from sugar beet wastes using TiO_2 and Fe_3O_4 nanoparticles and chitosan micropowder additives, Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 189, pp. 13-25.
4. Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C.J, Romero-García, L.I., 2015, Improvement of exhausted sugar beet cossettes anaerobic digestion process by co-digestion with pig manure, Energy & Fuels, Vol. 29(2), pp. 754-762.
5. Alkaya, E., Demirer, G.N., 2011, Anaerobic mesophilic co-digestion of sugar-beet processing wastewater and beet-pulp in batch reactors, Renewable Energy, Vol. 36(3), pp. 971-975.
6. Keramati, M., Beiki, H., 2017, The effect of pH adjustment together with different substrate to inoculum ratios on biogas production from sugar beet wastes in an anaerobic digester, Journal of Energy Management and Technology, Vol. 1(2), pp. 6-11.
7. Hutnan, M., Drtil, M., Mrafkova, L., 2000, Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp, Biodegradation, Vol. 11(4), pp. 203-211.
8. Montañés, R., Solera, R., Pérez, M., 2015, Anaerobic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: effect of temperature, Bioresource technology, Vol. 180,pp. 177-184.
9. Yang, L, Huang, Y., Zhao, M., Huang, Zh., Miao, H., Xu, Zh., Ruan, W., 2015, Enhancing biogas generation performance from food wastes by high-solids thermophilic anaerobic digestion: Effect of pH adjustment, International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 105, pp. 153-159.
10. Chen, X., Yan, W., Sheng, K., Sanati, M., 2014, Comparison of high-solids to liquid anaerobic co-digestion of food waste and green waste, Bioresource technology, Vol. 154, pp. 215-221.
11. Demirel, B., Scherer, P., 2008, Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process, Biomass and Bioenergy, Vol. 32(3), pp. 203-209.
12. Suhartini, S., Heaven, S., Banks, C. J., 2014, Comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sugar beet pulp: performance, dewaterability and foam control, Bioresource technology. Vol. 152, pp. 202-211.
13. Federation, W.E., 2005, Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
14. Liu, C. f., Yuan, X., Zeng, G., Li, W., Li, J., 2008, Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, Bioresource Technology, Vol. 99(4), pp. 882-888.
15. Yuan, H., Chen, Y., Zhang, H., Jiang, S., Zhou, Q., Gu, G., 2006, Improved bioproduction of short-chain fatty

acids (SCFAs) from excess sludge under alkaline conditions, Environmental science & technology, Vol. 40(6), pp. 2025-2029.

16. Izumi, K., Okishio, Y., Nagao, N., Niwa, Ch., Yamamoto, Sh., Toda, T., 2010, Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste, International biodeterioration & biodegradation, Vol. 64(7), pp. 601-608.
17. Wang, K., Yin, J., Shen, D., Li, N., 2014, Anaerobic digestion of food waste for volatile fatty acids (VFAs) production with different types of inoculum: effect of pH, Bioresource technology, Vol. 161, pp. 395-401.
18. Hutnan, M., Drtil, M., Derco, J., Mrafkova, L., Hornak, M., Mico, S., 2001, Two-Step Pilot-Scale Anaerobic Treatment of Sugar Beet Pulp, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 10, No. 4, pp. 237-243
19. Suhartini, S., Heaven, S., Banks, C. J., 2014, Comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sugar beet pulp: Performance, dewaterability and foam control, Bioresource Technology, Vol. 152, pp. 202–211.