بررسی روش های مختلف افزایش تولید بیوگاز از لجن فاضلاب شهری

مبینا یعقوبی عبدل آبادی[۱]، محمد هاشم رحمتی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ mobina.yaghobi.aa@gmail.com

[۲]عضو هیئت علمی (دانشیار) گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ mhrahmati20@gmail.com

چکیده

مصرف روزافزون انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی اگر چه رشد سریع اقتصادی جوامع مختلف را به همراه داشته اما به واسطه انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی، جهان را با تغییرات تهدیدآمیزی روبه رو ساخته است. بر این اساس بیوگاز یکی از مهم‌ترین منابع انرژی در آینده خواهد بود. بیوگاز یک منبع انرژی تجدیدپذیر و چندمنظوره است که عمدتا توسط هضم بی‌هوازی تولید می‌شود. هضم بی‌هوازی لجن یک تکنولوژی قابل اطمینان است که در سراسر جهان برای تثبیت ماده آلی، کاهش جامدات، تخریب پاتوژن‌ها و تولید بیوگاز به عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود. لجن فاضلاب می‌تواند تمام مواد لازم برای هضم بی‌هوازی را فراهم کند، در نتیجه لجن فاضلاب متداول‌ترین زیرلایه مشترک در هضم بی‌هوازی است. در این تحقیق به منظور افزایش راندمان تولید بیوگاز و عملکرد متان به بررسی اثر روش‌ها و تکنیک‌های مختلف در تسریع و افزایش تولید بیوگاز از لجن فاضلاب شهری پرداخته شده است. با توجه بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که افزودن موادی چون عناصر کمیاب، گلیسرول خام، لجن غنی از چربی، نوشابه‌های نوشیدنی شیرین، زباله‌های شهری، استفاده از فرایندهای هیدرولیز و برخی عوامل دیگر می‌تواند عملکرد بیوگاز را به طور معنی‌داری بهبود ببخشد.

کلمات کلیدی: بیوگاز، هضم بی‌هوازی، لجن فاضلاب شهری، راندمان بیوگاز

Investigating Different Methods of Increasing the Production of Biogas from Municipal Sewage Sludge

Mobina Yaghoobi Abdol Abadi[1], Mohammad Hashem Rahmati[2]

[1]MSc Student in Biosystem Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources; Mobina.Yaghobi.aa@Gmail.Com

[2]Faculty Member (Associate Prof.) Biosystem Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources; Hmrahmati20@Gmail.Com

Abstract

The increasing consumption of fossil fuels, despite the rapid economic growth of various societies, has caused the world to face a dramatic change in emissions from fossil fuels. Accordingly, biogas will be one of the most important sources energy in the future. Biogas is a renewable and multifunctional energy source mainly produced by anaerobic digestion. Sewage sludge anaerobic digestion is a reliable technology used throughout the world for stabilizing organic matter, reducing solids, destroying pathogens and producing biogas as an energy source. Sewage sludge can provide all the materials necessary for anaerobic digestion, as a result is the most common substrate in anaerobic digestion. In this research, in order to increase the efficiency of biogas production and methane development, the effect of different methods and techniques on accelerating and increasing the production of biogas from urban sewage sludge has been investigated. According to the results of this study, it can be concluded that the addition of materials such as trace elements, crude glycerol, grease trap sludge, soft drink beverage waste, municipal waste, the use of hydrolysis processes and some other factors can significantly improve the biogas performance.

Keyword: Biogas, Anaerobic Digestion, Municipal Sewage Sludge, Biogas Efficiency

[۱] مبینا یعقوبی، استان گلستان، شهرستان گرگان، کوی گلباران، گلباران ۱۱، تلفن همراه ۰۹۱۱۴۲۱۲۶۰۹، email:mobina.yaghobi.aa@gmail.com

۱- مقدمه

مصرف روزافزون انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی اگر چه رشد سریع اقتصادی جوامع مختلف را به همراه داشته اما به واسطه انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی، جهان را با تغییرات تهدیدآمیزی روبه رو ساخته است. طبق پیش بینی‌های انجام شده در بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۱۰۰ تنها انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند انرژی کل جهان را تامین کنند. بر این اساس بیوگاز یکی از مهم‌ترین منابع انرژی در آینده خواهد بود. در حال حاضر کشورهای آمریکا، آلمان و انگلیس به ترتیب با توان نیروگاهی ۲۷۴ ، ۱۲۰,۷ ، ۷۲,۸ مگاوات بیش‌ترین میزان برق تولیدی از بیوگاز حاصل از فاضلاب شهری را دارا می‌باشند. بر طبق تحقیقات انجام شده پتانسیل تولید بیوگاز و توان برق تولیدی از آن در ایران بر اساس ظرفیت اسمی تصفیه خانه‌های دارای هاضم بی‌هوازی ۶,۱۶ مگاوات می‌باشد (hosseini et al. 2016).

بیوگاز یک منبع انرژی تجدیدپذیر و چندمنظوره است که عمدتا توسط هضم بی‌هوازی تولید می‌شود. متان و دی‌اکسیدکربن جز اصلی بیوگاز هستند اما هم‌چنین می‌تواند حاوی مقدار زیادی ترکیبات مضر سولفید هیدروژن باشد که غلظت آن به ۱٪ (v/v) می‌رسد (Ramos and Fdz-Polanco 2014). هضم بی‌هوازی فرایندی است که در آن میکروارگانیسم ها مواد ارگانیک را در غیاب اکسیژن به بیوگاز و بیوسالید تبدیل می‌کنند (Nghiem et al. 2014). هضم بی‌هوازی لجن یک تکنولوژی قابل اطمینان است که در سراسر جهان برای تثبیت ماده آلی، کاهش جامدات، تخریب پاتوژن‌ها و تولید بیوگاز به عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود (Zahedi et al. 2018) و شامل چهار مرحله هیدرولیز، اسیدوژنیک، استوژنیک و متانوژنیک می‌باشد که مرحله هیدرولیز (تبدیل مواد آلی به مواد محلول) و مرحله متانوژنیک (تبدیل اسیداستیک، H_2، CO_2 و ... به متان) از مراحل محدودکننده سرعت هضم بی‌هوازی می‌باشند (Montalvo et al. 2018). هضم بی‌هوازی نقش مهمی را برای تثبیت لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری ایفا می‌کند (Nghiem et al. 2014) و جز جدایی‌ناپذیر از تصفیه فاضلاب شهری است که باعث تثبیت موثر و کاهش حجم لجن فاضلاب از طریق تخریب بیولوژیکی می‌شود. لجن فاضلاب می‌تواند تمام مواد لازم برای هضم بی‌هوازی را فراهم کند، در نتیجه لجن فاضلاب متداول‌ترین زیرلایه مشترک در هضم بی‌هوازی است (Wickham et al. 2018). این تحقیق به بررسی اثر روش‌ها و تکنیک‌های مختلف در تسریع و افزایش تولید بیوگاز از لجن فاضلاب شهری می‌پردازد و در نهایت راهکارهایی را به منظور افزایش راندمان تولید بیوگاز از لجن فاضلاب شهری ارائه می‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله سعی شده است نتایج بدست آمده از مقالات مختلف که توسط محققین در کشورهای مختلف جهان ارائه شده است که منجر به بهبود عملکرد و افزایش راندمان بیوگاز از هضم بی‌هوازی لجن فاضلاب می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به هضم ترکیبی، پیش تیمار و استفاده از مواد افزودنی اشاره کرد (Ebrahimi-Nik et al. 2018).

۲-۱ روش‌های کلی برای بهبود عملکرد بیوگاز و افزایش راندمان تولید گاز متان

۲-۱-۱ آب‌گیری لجن فاضلاب و حذف فلزات سنگین

مشکلات زیادی در آب‌گیری لجن فاضلاب وجود دارد که اولین گام برای بهبود عملکرد بیوگاز، کاهش حجم لجن فاضلاب می‌باشد (Li et al. 2017). بخش عمده تشکیل دهنده لجن بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها هستند که دارای سلول، آب درون سلولی و غشا می‌باشند. از آنجایی که هدف اصلی از آب‌گیری از لجن، خارج کردن آب درون سلول‌ها می‌باشد، روش مورد استفاده باید توانایی شکستن غشای سلولی و آزاد کردن آب درون سلولی را داشته باشد (Heydari et al. 2014). فاضلاب که از مخلوط صنعتی و خانگی جمع‌آوری می‌شود ممکن است به فلزات و مواد شیمیایی صنعتی آلوده شود که با حذف این فلزات از لجن فاضلاب می‌توان باعث کاهش قابل توجهی در تولید بیوگاز و حذف مواد آلی فرار شد (Abdel-Shafy and Mansour 2014). امروزه در سراسر جهان روش‌های مختلفی برای آب‌گیری از لجن فاضلاب وجود دارد که می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد. این روش‌ها به عنوان پیش تیمار برای کاهش حجم لجن وجود دارد.

۲-۱-۱-۱ تیمار حرارتی/هیدروترمال

طی این روش مواد پلیمری خارج سلولی (Eps) تجزیه می‌شوند تا آب را آزاد کنند و دیواره سلول‌ها برای تخریب آب داخل سلولی تخریب می شوند (Li et al. 2017).

۲-۱-۱-۲ تیمار اولتراسونیک

امواج اولتراسونیک با انتشار در سیالات سبب تولید حباب و سقوط آن‌ها با شدت زیاد می‌شوند. این پدیده سبب ایجاد یک محیط شیمیایی با دمای بیش از ۵۰۰۰ کلوین و فشار بیش از ۱۰۸ پاسکال می‌شود. در اثر تجزیه حرارتی مولکول‌های آب در حباب‌ها، رادیکال‌های هیدروکسیل رها می‌شوند. این ویژگی امواج اولتراسونیک می‌تواند سبب افزایش تجزیه آلاینده‌های آلی و خروج آب اضافی از لجن شود (Heydari et al. 2014).

۲-۱-۱-۳ تیمار حرارتی قلیایی

حضور قلیاها مثل $Ca\ (OH)_2$ در پردازش هیدروترمال و کاتیون‌های دوطرفه/سه گانه مثل Ca^{2+} اثرات مثبتی بر تسهیل آب‌گیری لجن و تولید بیوگاز دارد (Li et al. 2017).

۲-۱-۲ اضافه کردن مواد افزودنی به لجن فاضلاب

با افزودن برخی از مواد می‌توان تولید گاز متان و عملکرد بیوگاز را بهبود بخشید. در این تحقیق به برخی از مواد که موجب بهبود عملکرد بیوگاز می‌شود اشاره شده است که شامل عناصر کمیاب (Ebrahimi-Nik et al. 2018)، میکروجلبک‌ها (Caporgno et al. 2015)، لجن چرب و زباله‌های شهری (Grosser 2018)، گلیسرول خالص و خام (Kurahashi et al. 2017)، لجن غنی از چربی (Pessuto et al. 2016)، گلیسیرین (Zahedi et al. 2018)، چمن‌های انرژی (Zahedi et al. 2018)، ضایعات گلیسیرین بیودیزل (Razaviarani et al. 2013)، نوشابه‌های نوشیدنی شیرین (Wickham et al. 2018)، جامدات خشک (ضایعات زیتون آسیاب کرده، پنیر و گلیسرول خام) (Maragkaki et al. 2017) می‌باشد.

۲-۱-۳ استفاده از روش‌های مختلف هیدرولیز

۲-۱-۳-۱ هیدرولیز هوازی و خاکستر فلزی

استفاده از هیدرولیز هوازی و خاکستر فلزی که می‌تواند شامل سه پیش تیمار میکروهوادهی و خاکستر فلزی ، هیدرولیز میکروهوادهی و بقایای معدنی باشد. در پیش تیمار میکروهوادهی و خاکستر فلزی، لجن فاضلاب قبل از آزمایش میکروهوادهی (استفاده از مقدار کمی هوا) شده و سپس به آن خاکسترهای فلزی نظیر بقایای فلزی مس اضافه می‌شود (Montalvo et al. 2018).

۲-۱-۳-۲ هیدرولیز حرارتی و پراکسیداسیون

مطالعاتی در خصوص فرایندهای هیدرولیز حرارتی و ترموشیمیایی و اکسیداسیون شیمیایی با استفاده از پراکسیداسیون صورت گرفته است که مواد پلیمری خارج سلولی (Eps) نقش مهمی در آن دارد که باعث حذف آلاینده‌ها از فاضلاب، پاک‌سازی و آب‌گیری لجن فعال می‌شوند (Neyens et al. 2004).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۳- نتایج و بحث

با توجه به این‌که اهداف این تحقیق افزایش راندمان بیوگاز و هضم بی‌هوازی از لجن فاضلاب و افزایش تولید گاز متان می‌باشد، به طور مفصل و جداگانه روش‌هایی که به این اهداف می‌انجامد مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های مختلف برای بهبود عملکرد بیوگاز و افزایش راندمان تولید گاز متان به شرح زیر می‌باشد:

۳-۱ آب‌گیری لجن فاضلاب

مشکلات زیادی در آب‌گیری لجن فاضلاب وجود دارد که اولین گام برای بهبود عملکرد بیوگاز، کاهش حجم لجن فاضلاب می‌باشد. امروزه در سراسر جهان روش‌های مختلفی برای آب‌گیری از لجن فاضلاب وجود دارد. استفاده از این روش‌ها آب‌گیری لجن فاضلاب را آسان می‌کند. اصول این روش‌ها برای بهبود آب‌گیری لجن، تغییر آب لجن به آب آزاد است (Li et al. 2017). روش‌های زیر به عنوان پیش تیمار برای کاهش حجم لجن وجود دارد.

۳-۱-۱ پیش تیمار حرارتی/هیدروترمال

طی این روش مواد پلیمری خارج سلولی (Eps) تجزیه می‌شوند تا آب را آزاد کنند و دیواره سلول‌ها برای تخریب آب داخل سلولی تخریب می‌شوند (Li et al. 2017).

۳-۱-۲ پیش تیمار اولتراسونیک

امواج اولتراسونیک با انتشار در سیالات سبب تولید حباب و سقوط آنها با شدت زیاد می‌شوند. این پدیده سبب ایجاد یک محیط شیمیایی با دمای بیش از ۵۰۰۰ کلوین و فشار بیش از ۱۰۸ پاسکال می‌شود. در اثر تجزیه حرارتی مولکول‌های آب در حباب‌ها، رادیکال‌های هیدروکسیل رها می‌شوند. این ویژگی امواج اولتراسونیک می‌تواند سبب افزایش تجزیه آلاینده‌های آلی و خروج آب اضافی از لجن شود. این ویژگی امواج اولتراسونیک می‌تواند سبب افزایش تجزیه آلاینده‌های آلی، خروج آب اضافی از لجن و در نتیجه باعث آب‌گیری لجن و بهبود عملکرد بیوگاز شود (Heydari et al. 2014).

۳-۱-۳ پیش تیمار حرارتی قلیایی

افزودن قلیاها مثل $Ca\ (OH)_2$ و کاتیون‌های دوطرفه/سه گانه مثل Ca^{2+} تاثیر مثبتی بر آب‌گیری لجن فاضلاب دارد. در مطالعه اخیر یافته شد که روش پیش تیمار حرارتی قلیایی و استفاده از $Ca\ (OH)_2$ عملکرد بهتری نسبت به پیش تیمار حرارتی/هیدروترمال در آب‌گیری مکانیکی دارد و همچنین pH بالاتری نیز دارد. پیش تیمار هیدروترمال به طور معناداری باعث کاهش میزان آب‌گیری لجن شد و اضافه کردن قلیا عملکرد آب‌گیری را تقویت کرد. از بین این روش‌ها روش پیش تیمار حرارتی/هیدروترمال به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li et al. 2017).

۳-۲ افزودن عناصر کمیاب

مطالعات کمی با افزودن عناصر کمیاب بر عملکرد هضم بی‌هوازی صورت گرفته است. به طور مثال با اضافه کردن مخلوطی از کبالت، منگنز، کلسیم و نیکل (Co، Mg، Ca و Ni) عملکرد هضم بی‌هوازی به میزان ۵۰٪ افزایش یافت. به رغم تاثیرات مثبت این عناصر کمیاب، استفاده از آن‌ها در مقیاس بزرگ به دلیل هزینه بالای این مواد شیمیایی محدود می‌باشد (Ebrahimi-Nik et al. 2018).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۳-۳ حذف فلزات سنگین

فاضلاب که از مخلوط صنعتی وخانگی جمع آوری می شود ممکن است به فلزات و مواد شیمیایی صنعتی آلوده شود. در این مطالعه اثرات جیوه، کادمیم و یون کروم-۳ (Cr III ،Cd ، Hg) مورد مطالعه قرار گرفت. درجه سمیت این فلزات Hg > cd > Cr III به این صورت می‌باشد. حضور این فلزات سنگین باعث کاهش قابل توجهی در تولید بیوگاز و حذف مواد آلی فرار می‌شود و همچنین با مهار کردن باکتری‌های متانوژنیک باعث تجمع اسیدهای آلی می‌شود که به سمیت فلز بستگی دارد. توصیه می‌شود از لجن‌هایی که حاوی این فلزات سنگین می‌باشند اجتناب شود (Abdel-Shafy and Mansour 2014).

۴-۳ افزودن میکروجلبک‌ها

Selenastrum capricornutum ،Isochrysis galbana، گونه‌های دریایی و میکروجلبک‌ها با لجن فاضلاب در شرایط مزوفیلیک و ترموفیلیک در شرایط بی‌هوازی ترکیب شدند. نتایج نشان داد که اضافه کردن Isochrysis galbana به لجن فاضلاب در شرایط مزوفیلیک بستر مطلوبی را برای هضم بی‌هوازی آماده می‌کند. اما در مجموع هضم ترکیبی میکروجلبک‌ها و لجن باعث بهبود عملکرد بیوگاز در مقایسه با هضم تکی نمی‌شود و در طول هضم ترکیبی، زمانی که مقدار میکروجلبک‌ها افزایش یافت، تولید بیوگاز کاهش یافت (Caporgno et al. 2015).

۵-۳ افزودن همزمان لجن چرب و زباله های شهری

استفاده از لجن چرب و زباله‌های شهری می‌تواند یک گزینه جالب برای افزایش هضم بی‌هوازی لجن فاضلاب باشد. لجن فاضلاب با لجن چرب و زباله‌های شهری به نسبت ۳:۳:۴ ترکیب شد و نتایج نشان داد که عملکرد متان ۱۳۰درصد بیشتر از لجن فاضلاب به تنهایی بود (Grosser 2018).

۶-۳ افزودن گلیسرول خالص و خام

در تخمیر لجن فاضلاب و گلیسرول خام، تخمیر متان زمانی رخ می‌دهد که مقدار کمی از گلیسرول اضافه شود و تخمیر هیدروژن زمانی رخ می‌دهد که غلظت‌های متوسط افزوده شود و تخمیر هیدروژن ممتاز زمانی رخ می‌دهد که مقدار زیادی گلیسرول اضافه شود که اسیدهای آلی بیشتر و باارزش‌تری در فاز مایع تشکیل می‌شوند. گلیسرول خام که غنی از مواد قلیایی است باعث حل کردن و تجزیه بیشتر لجن و استفاده لجن توسط میکروارگانیسم‌ها می‌شود و در نتیجه باعث تسریع افزایش تبدیل لجن به منابع با ارزش بیوگاز می‌شود (Kurahashi et al. 2017). در مطالعه اخیر مشاهده شد که تزریق گلیسرول خالص و خام متناوب با دوز بالا ۳٪ (v/v) ممکن است منجر به افزایش تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD) شود و افزودن گلیسرول با دوز ۰٫۶۳٪ (v/v) در تولید بیوگاز اضافی موثر بود (Nghiem et al. 2014).

۷-۳ افزودن لجن غنی از چربی

از عوامل اصلی محدود کردن عملکرد هضم بی‌هوازی، حذف کم مواد جامد فرار و زمان نگهداری طولانی می‌باشد. ترکیب هضم لجن فاضلاب با مواد زائد آلی مثل مواد غنی از چربی یکی از راه‌های بالقوه برای بهبود عملکرد هضم بی‌هوازی است. در مطالعه اخیر لجن غنی از چربی به میزان ۱۸و۱۶،۱۴،۱۲،۱۰ درصد از مواد جامد فرار اضافه شد که باعث افزایش رضایت بخش در عملکرد بیوگاز شد. این هضم ترکیبی عملکرد بیوگاز را به میزان ۲۸-۸۲٪ در مقایسه با لجن فاضلاب تنها افزایش داد و افزودن ۱۴٪ لجن غنی از چربی باعث افزایش حذف مواد جامد فرار از ۴۴٫۳۸٪ به ۵۵/۷۷٪ شد. بیش‌ترین میزان تولید متان با افزودن ۱۲٪ لجن غنی از چربی مشاهده شد (Pessuto et al. 2016).

۳-۸ افزودن گلیسیرین

افزودن گلیسیرین به لجن فاضلاب باعث کاهش زمان نگهداری یا ماند جامدات (SRT) از ۲۰ تا ۵ روز و کاهش ۵+۸۵٪ اسیدهای چرب فرار (VFA) می‌شود. در نتیجه بازه زمانی تولید بیوگاز را کاهش می‌دهد و تولید بیوگاز کمتر از ۲۰روز به طول می‌انجامد (Zahedi et al. 2018).

۳-۹ افزودن چمن‌های انرژی

مقدار نسبتا کم مواد آلی و غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب، کاربرد و توسعه هضم بی‌هوازی را در کشور چین به شدت محدود کرده است. تاثیر چمن‌های انرژی بر تولید متان و تجزیه فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. با افزودن چمن انرژی Pennisetum alopecuroides تولید متان ۱۱/۲٪ افزایش یافت (Zahedi et al. 2018).

۳-۱۰ استفاده از هیدرولیز هوازی و ضایعات فلزی

در این مطالعه از پیش تیمارهای میکروهوادهی و خاکستر فلزی، هیدرولیز میکروهوادهی و بقایای معدنی برای لجن فاضلاب استفاده می‌شود. در پیش تیمار میکروهوادهی و خاکستر فلزی، لجن فاضلاب قبل از آزمایش میکروهوادهی (استفاده از مقدار کمی هوا) شده و سپس به آن خاکسترهای فلزی نظیر بقایای فلزی مس اضافه شد که در شرایط دمایی مزوفیلیک قرار داشتند که بهترین عملکرد تولید متان را به خود اختصاص دادند و باعث افزایش ۲۰۱,۶٪ متان نسبت به لجن فاضلاب تنها شدند. نتایج نشان داد که پیش تیمار هیدرولیز میکروهوادهی و بقایای معدنی باعث افزایش ۱۸۵,۵٪ تولید متان شد. استفاده از بقایای معدنی هم به طور قابل ملاحظه‌ای هضم بی‌هوازی لجن را افزایش می‌دهد و باعث افزایش بیش از ۱۰۰٪ تولید متان می‌شود (Montalvo et al. 2018).

۳-۱۱ افزودن نوشابه های نوشیدنی شیرین

در این تحقیق از نوشابه های نوشیدنی شیرین (BW) به عنوان ماده افزودنی استفاده شده است. نتایج نشان داد که افزایش تولید بیوگاز با افزودن نرخ بارگذاری آلی (OLR) با افزودن BW متناسب است. افزایش بارگذاری آلی از ۸۶٪ و ۱۷۱٪ متناظر به ۱۰٪ و ۲۰٪ BW در حجم تغذیه، باعث افزایش ۸۹٪ و ۱۹۱٪ در تولید بیوگاز می‌شود اما بر روی کیفیت هضم (حذف COD و بوی بیوسالید) و ترکیب بیوگاز اثری ندارد (Wickham et al. 2018).

۳-۱۲ استفاده از هیدرولیز حرارتی و پراکسیداسیون

مطالعاتی در خصوص فرایندهای حرارتی و ترموشیمیایی و اکسیداسیون شیمیایی با استفاده از پراکسیداسیون صورت گرفته است که مواد پلیمری خارج سلولی (EPS) نقش مهمی در آن دارد که باعث حذف آلاینده‌ها از فاضلاب، پاک‌سازی و آب‌گیری لجن فعال می‌شود. EPS ٪۸۰ از حجم لجن فعال را تشکیل می‌دهد. یافته شد که روش‌های پیشرفته هیدرولیز حرارتی و پراکسیداسیون بر تخریب و انهدام EPS تاثیر دارد این روش‌های پیشرفته، پروتئین‌ها و پلی ساکاریدهای EPS لجن فعال که تقریبا ۶۰٪ از EPS را تشکیل می‌دهند تخریب می‌کند. میزان تخریب برای هیدرولیز حرارتی ۲۳٪ و پراکسیداسیون ۲۷٪ می‌باشد. در نتیجه هرچه EPS کم و تخریب شود باعث افزایش آب‌گیری از لجن می‌شود و راندمان تولید متان افزایش می‌یابد (Neyens et al. 2004).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۳-۱۳ افزودن ضایعات گلیسیرین بیودیزل

میزان عملکرد افزودن ضایعات گلیسیرین بیودیزل (BWG) به لجن فاضلاب شهری (MWS) در شرایط مزوفیلیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن ۲۳٪ و ۳۵٪ BWG به ترتیب باعث افزایش ۶۵٪ و ۸۳٪ تولید بیوگاز نسبت به لجن فاضلاب تنها می شود. میزان حذف COD و VS هم به ترتیب ۸۲٪ و ۶۳٪ افزایش یافت (Razaviarani et al. 2013).

۳-۱۴ افزودن جامدات خشک (ضایعات زیتون آسیاب کرده، پنیر و گلیسرول خام)

در این مطالعه، هضم ترکیبی لجن فاضلاب با زیتون آسیاب کرده (OMW) ، پنیر (CW) و گلیسرول خام (CG) در تلاش برای بهبود تولید بیوگاز بررسی شده است. هاضم با ۹۵٪ لجن فاضلاب و (v/v) ۵٪ از هر کدام از سه ماده به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن ۵٪ از OMW، CG و CW به لجن فاضلاب تولید بیوگاز را در حدود ۲۲۰٪، ۳۵۰٪ و ۸۶٪ نسبت به لجن فاضلاب تنها افزایش داد (Maragkaki et al. 2017).

۴-نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده از روش‌های مختلف برای بهبود عملکرد بیوگاز و تولید متان، نتایج زیر ارائه می‌گردد:

۱- از بین روش‌های مختلف برای بهبود عملکرد بیوگاز، افزودن (v/v) ۵٪ از گلیسرول خام به لجن فاضلاب با افزایش ۳۵۰٪ تولید بیوگاز بهترین عملکرد را به خود اختصاص داد. بعد از آن افزودن (v/v) ۵٪ از زیتون آسیاب کرده با افزایش ۲۲۰٪ تولید بیوگاز و به ترتیب افزودن خاکسترهای فلزی با افزایش ۲۰۱,۶٪، افزودن ۱۰٪ نوشابه‌های نوشیدنی شیرین با افزایش ۱۹۱٪، پیش تیمار میکروهوادهی و بقایای معدنی با افزایش ۱۸۵,۵٪، افزودن عناصر کمیاب با افزایش ۱۵۰٪، افزودن همزمان لجن چرب و زباله‌های شهری با افزایش ۱۳۰٪، افزودن بقایای معدنی با افزایش بیش از ۱۰۰٪، افزودن ۲۰٪ نوشابه‌های نوشیدنی شیرین با افزایش ۸۹٪، افزودن (v/v) ۵٪ از پنیر با افزایش ۸۶٪، افزودن ۳۵٪ ضایعات گلیسیرین بیودیزل با افزایش ۸۳٪، افزودن ۱۲٪ لجن غنی از چربی با افزایش ۸۲٪، افزودن ۲۳٪ ضایعات گلیسیرین بیودیزل با افزایش ۶۵٪ و افزودن چمن‌های انرژی با افزایش ۱۱,۲٪ را به خود اختصاص دادند. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن این مواد در بهبود عملکرد بیوگاز کمک بسیاری می‌کند.

۲- از بین روش‌های آب‌گیری از لجن فاضلاب، روش پیش تیمار حرارتی قلیایی و استفاده از قلیاها عملکرد بهتری نسبت به روش پیش تیمار حرارتی داشت. ولی استفاده از پیش تیمار حرارتی به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- استفاده از امواج اولتراسونیک باعث آب‌گیری از لجن و بهبود عملکرد بیوگاز و استفاده از هیدرولیز حرارتی و پراکسیداسیون نیز باعث افزایش راندمان تولید متان می‌شود.

۴- باید از به کارگیری لجن هایی‌مانند لجن صنعتی و برخی از لجن‌های خانگی که دارای فلزات سنگین هستند در هضم بی هوازی اجتناب شود زیرا راندمان تولید بیوگاز را کاهش می‌دهند.

۵- افزودن میکروجلبک‌ها به لجن فاضلاب در شرایط دمایی مزوفیلیک، شرایط مطلوبی را برای هضم بی‌هوازی آماده می‌کند اما باعث بهبود عملکرد بیوگاز نسبت به هضم تنهایی لجن نمی‌شود.

۶- افزودن گلیسیرین به لجن فاضلاب باعث می‌شود که بازه زمانی تولید بیوگاز کاهش یابد، یعنی در مدت زمان کوتاه‌تری می‌توان به بیوگاز

دست پیدا کرد.

۵- تقدیر و تشکر

سپاسگذار کسانی هستم که سرآغاز تولدم هستند. از یکی زاده می‌شوم و از دیگری جاودانه. استادی که سپیدی را بر تخته سیاه زندگیم نگاشت و مادری که تار مویی از او به پای من سیاه نماند. تشکر فراوان از استاد راهنمای اینجانب، دکتر محمدهاشم رحمتی و مادر عزیز و مهربانم.

۶- مراجع

Hosseini, Hamid, Ramin Shafieeipour, Mohammad Shahraki, and Mohammad Shojaei Pour. 2016. "Biogas production potential in sewage treatment plants of the country and an examination of effective factors and methods to increase its production." The 9th Scientific Conference on Renewable Energy (persian).

Ramos, I. and M. Fdz-Polanco. 2014. “Microaerobic Control of Biogas Sulphide Content during Sewage Sludge Digestion by Using Biogas Production and Hydrogen Sulphide Concentration.” *Chemical Engineering Journal* 250:303–11.

Nghiem, Long D. et al. 2014. “Co-Digestion of Sewage Sludge and Crude Glycerol for on-Demand Biogas Production.” *International Biodeterioration and Biodegradation* 95(PA):160–66.

Zahedi, S., M. Rivero, R. Solera, and M. Perez. 2018. “Mesophilic Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge with Glycerine: Effect of Solids Retention Time.” *Fuel* 215(March 2017):285–89.

Wickham, Richard, Sihuang Xie, Brendan Galway, Heriberto Bustamante, and Long D. Nghiem. 2018. “Anaerobic Digestion of Soft Drink Beverage Waste and Sewage Sludge.” *Bioresource Technology* 262(April):141–47.

Ebrahimi-Nik, Mohammadali, Ava Heidari, Shamim Ramezani Azghandi, Fatemeh Asadi Mohammadi, and Habibollah Younesi. 2018. “Drinking Water Treatment Sludge as an Effective Additive for Biogas Production from Food Waste; Kinetic Evaluation and Biomethane Potential Test.” *Bioresource Technology* 260(January):421–26.

Abdel-Shafy, Hussein I. and Mona S. M. Mansour. 2014. “Biogas Production as Affected by Heavy Metals in the Anaerobic Digestion of Sludge.” *Egyptian Journal of Petroleum* 23(4):409–17.

Neyens, Elisabeth, Jan Baeyens, Raf Dewil, and Bart De Heyder. 2004. “Advanced Sludge Treatment Affects Extracellular Polymeric Substances to Improve Activated Sludge Dewatering.” *Journal of Hazardous Materials* 106(2–3):83–92.

Grosser, Anna. 2018. “Determination of Methane Potential of Mixtures Composed of Sewage Sludge, Organic Fraction of Municipal Waste and Grease Trap Sludge Using Biochemical Methane Potential Assays. A Comparison of BMP Tests and Semi-Continuous Trial Results.” *Energy* 143:488–99.

Pessuto, Jayna, Bianca Santinon Scopel, Daniele Perondi, Marcelo Godinho, and Aline Dettmer. 2016. “Enhancement of Biogas and Methane Production by Anaerobic Digestion of Swine Manure with Addition of Microorganisms Isolated from Sewage Sludge.” *Process Safety and Environmental Protection* 104:233–39.

Razaviarani, Vahid, Ian D. Buchanan, Shahid Malik, and Hassan Katalambula. 2013. “Pilot Scale Anaerobic Co-Digestion of Municipal Wastewater Sludge with Biodiesel Waste Glycerin.” *Bioresource Technology* 133:206–12.

Heydari, arezo, ramin nabi-zadeh, mahmood ali-mohammadi, mitra gholami, and amirhossein mahvi. 2014. " Investigating the Effect of Ultrasonic Method on Sewage Treatment Plants Biological Sludge Extraction." Journal of medical sceince university of sabzehvar 21(3):424-430.

Caporgno, M. P. et al. 2015. “Biogas Production from Sewage Sludge and Microalgae Co-Digestion under Mesophilic and Thermophilic Conditions.” Renewable Energy 75:374–80.

Li, Chunxing et al. 2017. “Hydrothermal and Alkaline Hydrothermal Pretreatments plus Anaerobic Digestion of Sewage Sludge for Dewatering and Biogas Production: Bench-Scale Research and Pilot-Scale Verification.” Water Research 117:49–57.

Kurahashi, Kensuke, Chie Kimura, You Fujimoto, and Hayato Tokumoto. 2017. “Value-Adding Conversion and Volume Reduction of Sewage Sludge by Anaerobic Co-Digestion with Crude Glycerol.” Bioresource Technology 232:119–25.

Maragkaki, A. E. et al. 2017. “Pilot-Scale Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge with Agro-Industrial by-Products for Increased Biogas Production of Existing Digesters at Wastewater Treatment Plants.” Waste Management 59:362–70.

Montalvo, Silvio, Stephania Vielma, Rafael Borja, César Huiliñir, and Lorna Guerrero. 2018. “Increase in Biogas Production in Anaerobic Sludge Digestion by Combining Aerobic Hydrolysis and Addition of Metallic Wastes.” Renewable Energy 123:541–48.