مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ - ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۸۸۶۷۱۶۷۶ (۰۲۱) - ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

بررسی عملکرد تولید بیوگاز در اثر هضم مشترک بی هوازی پسماند گل و کود گاوی

سید علی مرتضوی[۱]، محمدحسین عباسپورفرد[۲]، اکبر ثنایی مقدم[۳]، محمد طبسی زاده[۴]

گروه مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد- واحد بین الملل
alimortazavi57@gmail.com

چکیده

فرآیند هضم بی هوازی، یکی از فناوری‌های قابل قبول، هم از نظر زیست محیطی و هم از نظر اقتصادی، به منظور تولید انرژی از پسماندهای آلی می‌باشد. یکی از ضایعاتعمده آلی که در جوامع شهری وجود دارد دور ریزها و پسماند های ناشی از گل و قسمتهای مختلف آن می باشد.هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تولید انرژی از این منبع ضایعات با استفاده از روش ذکر شده می‌باشد. جهت انجام آزمایش‌های هضم بی هوازی، پایلوت آزمایشگاهی تولید بیوگاز از نوع تک مرحله‌ای موجود در سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد مورد استفاده واقع گردید؛ این پایلوت قابلیت کنترل خودکار شرایط محیطی فرآیند را از جمله دما، مدت و سرعت همزنی دارا بود. آزمایش هضم بی‌هوازی بر روی هضم مشترک پسماند گل(F) و کود گاوی (M) در چهار سطح (F:M) ۱۰۰:۰، ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰و ۰:۱۰۰بر اساس وزن ماده خشک مورد ارزیابی قرار گرفت. بعداز حداکثر ۴۵ روز ماند مواد درداخل هاضم، برای تیمار گل بدون اختلاط با کود،تولید گاز،ملموسمشاهده نگردید ولیدر سایر تیمارها به ترتیببه طور متوسط ۲۲۷،۲۶۶ و ۱۴۷ لیتر متان به ازای هر کیلو ماده خشک (l/kgTS) جمع آوری گردید که دارای تفاوت معنی داری نسبت به یکدیگر می باشند. میزان متان تولید شده در تیمار ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰،به ترتیب ۶۴ و ۹۸درصد نسبت به تیمار کود گاوی بدونافزودنی (۰:۱۰۰)، افزایش داشته است که انرژی معادل متان تولید شده، حدود ۲/۸Kwh/kgTS تعیین گردید. با توجه به ظرفیت بالای تولید گل و پسماند آن در کلان شهرهایی مثل مشهد ، پتاسیل قابل توجهی برای تولید انرژی از این پسماندوجود دارد که جهت بهره برداری نیاز به ارزیابی فنی و اقتصادی دقیقتری می باشد.

واژه های کلیدی :گل،پسماند، انرژی، بیوگاز، متان.

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳-کارشناس ارشد- کارشناسی فنی سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد
۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

www.Renewenergy.ir

مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ - ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۸۸۶۷۱۶۷۶ (۰۲۱) - ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

۱- مقدمه

در شیوه نوین مدیریت پسماند شهری، با توجه به افزایش جمعیت، کاهش منابع فسیلی و نیز مسائل نگران کننده زیست محیطی، برنامه ریزی ها و اقدامات در راستایی قرار می گیرند که انتقال مواد به محل های دفن زباله به حداقل برسد و یا در بهترین حالت به سمت عدم استفاده از این روش پیش برود. بدین معنی که با بکارگیری اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تولید زباله در مرحله اول و در مراحل بعدی بازیابی و بازیافت حداکثری پسماند، از انتقال مواد به محل های دفن و مشکلات اساسی ناشی از این امر خودداری شود. به عبارتی تولید ضایعات آلی و دفن حجم بالای آنها بدون اینکه عملیات مناسبی بر روی آن انجام بگیرد منجر به تهدیدات و آلودگی های زیست محیطی می گردد و در صورت عدم انجام تیمار مناسب بر روی آنها، هزینه هایی که در اثر تخریب محیط زیست به جامعه وارد می آید به مراتب می تواند بیشتر از مزایایی باشد که از لحاظ صنعتی اجرای آن تیمارها در بردارد [۱]. از مشکلات عمده بوجود آورنده این روش می توان به آلودگی آبهای سطحی و زیر سطحی، انتشار گازهای گلخانه ای و ایجاد پیامدهای نامطلوب برای ساکنین مجاور، به دلیل عوامل ناشی از بو، گرد و غبار، شیرابه و سر و صدای ناشی از حمل و نقل آن می شود.

یکی از مراحل مهم در این راستا استفاده از فناوری های تولید انرژی از پسماند می باشد. زباله سوزی، پیرولیز و هضم بی هوازی از جمله این فناوری‌ها می باشند.

در این بین، فرآیند هضم بی هوازی، یکی از فناوری‌های قابل قبول، هم از نظر زیست محیطی و هم از نظر اقتصادی، برای تولید انرژی از ضایعات آلی می‌باشد که طی این فرآیند، مواد آلی موجود در پسماند شهری به بیوگاز که عمدتا شامل گاز CH_4(۷۰-۶۵ ٪) می باشد، تبدیل می شود که از انرژی آن هم بصورت مستقیم برای مصارف گرمایشی و هم برای تولید توام برق و حرارت (CHP[1]) استفاده نمود.

از تحقیقات مشابهی که در این زمینه انجام شده است می توان به مطالعه‌ی اوجالو و همکاران (۲۰۰۸) اشاره داشت که تولید بیوگاز را بر روی بخش سبزیجات موجود در زباله شهری، مورد بررسی قرار دادند. میزان ماده خشک (TS) مواد شارژ شده بین ۸ تا ۱۰ درصد متغیر بوده و مدت ماند مواد داخل هاضم ۴۰ روز در نظر گرفته شد. حجم هاضم ۲۰۰ لیتر، سیستم به صورت ناپیوسته بوده و دمای مواد داخل هاضم بین ۲۹ تا ۳۳ درجه تنظیم گردید. حجم ویژه تولید بیوگاز بین ۵/۱۵ تا ۵/۸۳ لیتر به ازای هر کیلو ماده خشک (l/kgTS) گزارش کردند. آنها یک رابطه رگرسیونی چندجمله ای بین مدت ماند و تولید بیوگاز با ضریب همبستگی بالا ارائه دادند[۲].الانگو و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود به بررسی تولید بیوگاز از ترکیب زباله آلی شهری و فاضلاب خانگی با استفاده از فرآیند هضم بی هوازی پرداختند. این سیستم که به صورت ناپیوسته بود در دمای بین ۲۵ تا ۳۶ درجه سانتیگراد و مدت ماند ۲۵ روز تنظیم گردید. میزان شارژ ماده آلی فرار به عنوان متغیر مستقل معرفی گردید و بین ۰/۵ تا ۴/۳ کیلوگرم متغیر بود. آنها بیشترین مقدار بیوگاز تولید شده را در تیمار با ماده آلی فرار ۲/۹ کیلوگرم، به مقدار ۳۶۰ لیتر به ازای یک کیلوگرم ماده آلی فرار (l/kgVS) مشاهده نمودند. آنها اثر افزودن فاضلاب خانگی را به زباله آلی شهری بر روی تولید بیوگاز را مثبت گزارش دادند[۳].

لانزیاکوآلاوهمکاراندرسال ۲۰۰۹،درتحقیقیدیگرطیتخمیربیهوازیتفالههایسیبهمراهضایعاتکشتارگاهی(رودهومعده) خوکوگاوبهمیزانقابلتوجه ۸۰۰لیتربیوگازدرازایهرکیلوگرممادهآلی(OTS) دستپیداکردند[۴].

[1]Combined Heat and Power

مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ - ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۸۸۶۷۱۶۷۶ (۰۲۱) - ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

ثنایی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود بر روی مقایسه عملکرد تولید بیوگاز در ترکیب پوست سیب زمینی و کود گاوی نسبت به استفاده از کود گاوی تنها، به این نتیجه رسیدند که با اختلاط پوست سیب زمینی با کود گاوی با ترکیب (۲۰ به ۸۰ درصد) میزان تولید متان نسبت به حالت بدون اختلاط (کود ۱۰۰درصد) ۱۳۳درصد افزایش داشت[۵].

یکی از مسائلی که در این بین وجود دارد بحث ضایعات ناشی از گل می باشد که بنا به گفته رئیس اتحادیه فروشندگان و تولید کنندگان گل و گیاه ایران، میزان آن را در کشور ۵۰ تا ۶۰ درصد عنوان کرد (ایرنا، ۱۳۹۳/۳/۱۷)، که رقمی بسیار بالا و قابل توجه می باشد. علاوه بر این ضایعات که به دلیل عدم فروش و بازاریابی صحیح می باشد، ضایعاتی نیز بدلیل تهیه شاخه گل بریده تولید می شود که غیر قابل استفاده اقتصادی و به عنوان دور ریز می باشد. این نیز حجم قابل توجهی را با توجه به تعداد کل گل های شاخه بریده می تواند داشته باشد

طبق آخرین آمار، سالانه حدود ۲ میلیارد و ۳۰۰ میلیون شاخه گل شاخه بریده و۳۵۰ میلیون درختچه آپارتمانی در کشور تولید می‌شود و از محل صادرات آن ارزآوری ۳۰ میلیون دلاری عاید کشور می‌شود که در این میان گل مریم و رز قرمز بیشترین گل تولیدی و صادراتی کشور را به خود اختصاص داده‌اند [۶].

با توجه به مطالعات صورت گرفته مشاهده می شود که مواد آلی مختلف عملکرد تولید بیوگاز متفاوتی را دارند و از طرفی پسماندناشی از گل می تواند به عنوان یک منبع قابل توجه برای تولید انرژی، مورد ارزیابی قرار بگیرد.

لذا با توجه به این ظرفیت قابل توجه تولید ضایعات گل، در این مقاله سعی بر اینست تا با استفاده از آزمایش هضم بیهوازی پتانسیل تولید بیوگاز پسماندهای آلی این محصول مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و در آزمایشگاه سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد در قالب یک طرح آزمایشی انجام گردید.

۲- مواد و روش ها

۲-۱ تهیه نمونه مواد

مواد اولیه شامل نمونه های پسماندگل و کود گاوی بودند.با توجه به اینکه گل رز، سهم قابل توجهی در تولید و صادرات در بین گلها را دارا می باشد، برای تهیه مواد خام در این مطالعه از قسمت های مختلف گل رز استفاده شد. دور ریز گل معمولا ساقه و برگ آن می باشد که به عنوان مواد اولیه آزمایش ها مورد نیاز می باشد. از طرفی با بررسی دقیقتر بر روی سایر انواع گلها و میزان ضایعات ناشی از آنها، و در صورت قابل توجه بودن آنها می توان آزمایش ها را به آنها نیز تعمیم داد. نمونه های ضایعات گل رز را به میزان لازم از یکی از گلفروشی های سطح شهر مشهد در اواخر خرداد ماه ۱۳۹۴ تهیه گردید.

علاوه بر این، از کود گاوی نیز به منظور تامین اولیه جمعیت میکروبی باکتری های متانساز در شروع فرآیند هضم بی هوازی استفاده گردید. لذا از کود گاوی تازه موجود در گاوداری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در همان تاریخ نمونه گیری به عمل آمد. هر دو نوع نمونه برای تعیین برخی خواص فیزیکی و شیمیایی از جمله کربن (C)، نیتروژن(N)، میزان رطوبت (wet)، میزان ماده خشک (TS)، مواد آلی جامد فرار (VS)، به آزمایشگاه سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد که دارای گواهینامه آزمایشگاه معتمد سازمان محیط زیست نیز می باشد منتقل گردیدند. برای انجام این آزمایش ها از روش آزمون استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۳۲۰ استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱، مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده برای تیمارها

نوع ماده	فاکتورهای

شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ - ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

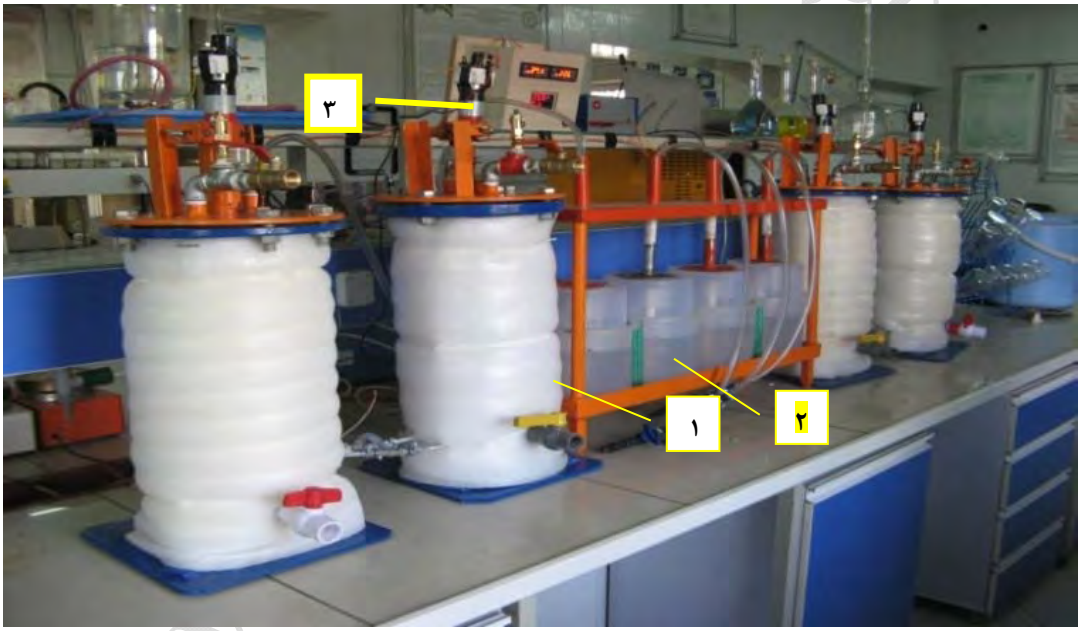
اندازه گیری	پسماند گل	کود گاوی
TS (%)	۱۸/۲	۱۶/۷
VS* (%)	۸۸/۲	۸۱/۳
Wet (%)	۸۱/۸	۸۳/۳
%C	۳۳/۲	۲۶/۱
%N	۱/۹۲	۱/۹
C:N	۱۷/۳	۱۳/۷
pH	۶/۸۳	۷/۴۲
EC (mS/cm)	۴/۲	۵/۹

*میزان VS درصدی از میزانTS می باشد

www.Renewenergy.ir

۲-۲ تجهیزات مورد استفاده

برای انجام آزمایش‌های هضم بی‌هوازی از ۴هاضم (دایجستر) با مشخصات یکسان استفاده گردید (شکل ۱). جنس بدنه هاضم‌ها از استیل ضدزنگ و حجم موثر هریک از آنها ۶ لیتر بوده و هر کدام از آنها مجهز به سیستم کنترل خودکار دما و مدت زمان همزنی می باشند. برای تامین گرمای محیط داخل دایجستر از کویل های مسی که به دور بدنه دایجستر پیچیده و نسبت به محیط بیرون عایق بندی شده اند، استفاده شده است. آب گرم توسط پمپ از منبع آب گرم (بن ماری)به داخل این کویل‌ها پمپاژ می شود. برای تعیین حجم گاز تولید شده روش استفاده شده توسط ثنایی و همکاران (۲۰۱۴)به کار گرفته شد[۵]. آنالایزر گازی GeoTech Co.)GA2000، با دقت ۰/۱درصد) برای تعیین درصد گازهای موجود در بیوگاز از جمله متان (CH_4)، دی اکسید کربن (CO_2)، اکسیژن (O_2)، استفاده شد. pH توسط pH متر دیجیتال (meterohm، مدل ۷۴۴، با دقت ۰/۰۱) و هدایت الکتریکیتوسط ECمتر دیجیتال (WTW، مدلcond 1170، با دقت ۰/۰۱ واحد اندازه گیری) اندازه گیری شد.



شکل ۱، نمایی از هاضم های مورد استفاده در آزمایشگاه سازمان مدیریت پسماند مشهد. ۱) هاضم عایق بندی شده، ۲) مخزن های مدرج جمع آوری گاز، ۳) جعبه کنترل دما و همزنی

۲- ۳ روش آزمایش

در این مطالعه با استفاده از چهار تیمار شامل: پسماند گل بدون افزودن کود گاوی(FWM[1])، کود گاوی تنها (MWF[2]) و مخلوط کود گاوی و پسماند گل (FAM[3]) با نسبتهای ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰، پتانسیل تولید بیوگاز هر یک از مواد، مورد ارزیابی قرار

[1] Flower waste Without Manure
[2] Manure Without Flower waste
[3] Flower waste And Manure

گرفتند.نسبت اختلاط بر اساس وزن ماده خشک (TS) مواد می باشد. تمامی آزمایش ها برای هر تیمار در دو تکرار انجام پذیرفت.

شکل ۲، خرد کردن قسمتهای مختلف گل به قطعات ریزتر

قبل از شارژ هاضم، ضایعات گلکه شامل ساقه، برگ و گلبرگ می باشد، توسط خرد کن به قطعات ریزتردر اندازه ۸-۶ میلیمتر خرد شدهو برای هر تیمار آنها را توسط آب رقیق سازی کرده تا اینکه ماده خشک (TS) موجود در هاضم به میزانحدود۷٪ برسد. در جدول ۲، میزان وزن تر هریک از تیمارها، C:Nو آب اضافه شده به آنها برای رسیدن به غلظت مورد نظر نشان داده شده است. مطابق این جدول میزان C:N در تمامی تیمارها در محدوده قابل قبول برای قرآیند هضم بی هوازی می باشد[۷].بعد از اینکه مواد با نسبت TS مورد نظر آماده گردید به داخل هاضم، شارژ و درپوش آن توسط پیچ و مهره، محکم به بدنه متصل گردید. برای اطمینان از ایجاد شرایط بی هوازی، قبل ازبستن درپوش، سطح تماس بین آن و بدنه هاضم و درزهای تمامی اتصالات، توسط چسب مخصوص هوابندی، چسب کاری گردید و از عدم وجود نشتی در سیستم اطمینان به عمل آمد.
دمای داخل هاضمدر تمامی آزمایش ها توسط ترموستات دیجیتال در شرایط مزوفیلیک (۳۷ ℃-۳۵) تنظیم و مواد داخل آنبه ازای هر ۳۰ دقیقه، به مدت ۵ دقیقه همزنی می شدند.برای هر تیمار، در طول فرآیند، pH هر سه روز یکبار، حجم و درصد گازهای مختلف به صورت روزانه اندازه گیری می شد. در نهایت برای تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده و نمایش نمودارها و جداول از نرم افزار اکسل(MSExcel، نسخه ۲۰۰۷)استفاده گردید.

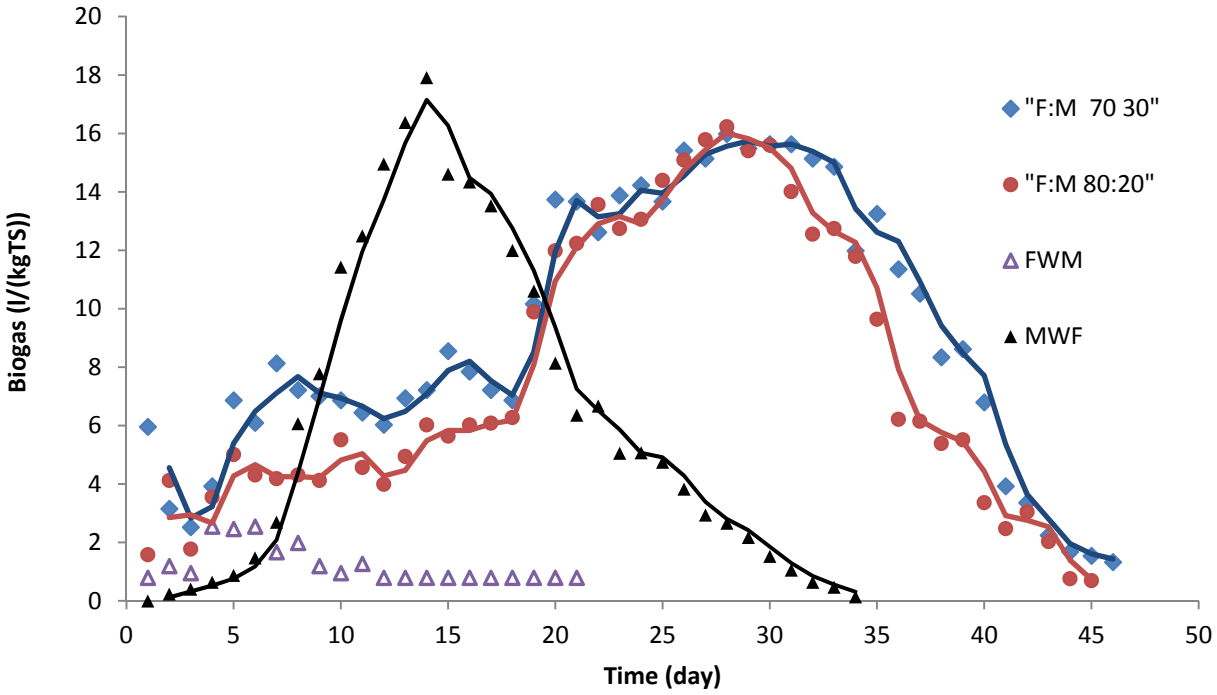
جدول ۲، مقادیر فاکتورهای اندازه گیری شده در تیمارها

فاکتورهای اندازه گیری	نوع تیمار			
	FWM	MWF	FAM	
			۷۰:۳۰	۸۰:۲۰

مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ - ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

TS (%)	۷/۱	۷/۲	۷/۲	۷/۴
VS** (%)	۱۶/۱	۱۳/۶	۱۵/۱۶	۱۵/۸
میزان ماده تر (g)	۲۳۳۰	۲۶۳۰	۱۶۳۰:۷۹۰	*۱۸۷۰:۵۳۰
میزان آب اضافه شده (lit)	۳/۶۷	۳/۳۸	۳/۵۸	۳/۶۱
C:N	۱۷/۳	۱۳/۷	۱۵/۹	۱۶/۷
pH	۶/۸	۷/۴۲	۷/۱۰	۷/۰۱
EC (dS/m)	۴/۲	۵/۳	۴/۷	۴/۵
*کودگاوی : پسماند گل** درصدی از ماده تر می باشد				

www.Renewenergy.ir



شکل ۳، روند تغییرات تولید بیوگاز در تیمارهای آزمایشی، (هر نقطه میانگین ۲ عدد می باشد)

۳- نتایجوبحث

۳-۱ میزان تولید بیوگاز

در شکل ۳، نمودار حجم ویژه بیوگاز (l/kgTS)را در تیمارهای کود گاوی بدون گل (MWF) و تیمارهای اختلاط پسماندگل و کود گاوی (FAM) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در تیمار پسماندگل بدون افزودنی (FWM)، تولید بیوگاز معنی دار نبوده و گازی جمع آوری نگردید. علت عدم تولید بیوگاز در این تیماررا می توان عدم وجود باکتری‌های بی هوازی برای شروع فرآیند هضم بی هوازی بیان نمود. ولی با توجه به اینکه کود گاوی به طور طبیعی دارای این نوع باکتری‌ها می باشد، در سایر تیمارها، تولید بیوگاز با موفقیت انجام شده است. مطابق با این نمودارها سرعت تولید بیوگاز در روزهای ابتدایی پایین و سهم عمده بیوگاز مربوط به CO_2است و بعد از آن، هم سرعت تولید بیوگاز و هم میزان متان موجود در آن رو به افزایش بوده تا اینکه بیشترین سرعت تولید بیوگاز در روزهای ۱۰ تا ۱۵ برای تیمار MWF و بین روزهای ۲۵ تا ۳۵ برای تیمارهای FAM مشاهده گردید. علت اختلاف زمان در رسیدن به اوج تولید بیوگاز را می توان ناشی از اختلاف در جمعیت میکروبی متانساز اولیه در تیمارها دانست به طوریکه در تیمار FWM به علت عدم وجود این باکتریها تولید بیوگاز در کمترین مقدار خود قرار داشته و لیکن در تیمار MWF به علت وجود محیط غنی از باکتریها و نیز در اثر تغییرات مولکولی که در محیط درونی گاو بر روی مواد آلی آن انجام گرفته است سریعتر به نقطه اوج تولید بیوگاز رسیده در حالیکه که این روند در تیمار هضم مشترک (FAM)به علت وجود مراحل شکست مولکولی مواد درون هاضم و جمعیت میکروبی رو به افزایش، تولید بیوگاز نیز روندی

افزایشی داشته، تا اینکه میزان آن در روزهای ۲۰ تا ۳۰ به حداکثر مقدار خود (۱۶ l/kgTS) برسد.بعد از گذشت این مدت، با توجه به اینکه سیستم به صورت ناپیوسته می‌باشد لذا همزمان بامصرف مواد آلی، میزان خوراک باکتریها کاهش و در نتیجه روند تولید بیوگاز نیز افت کرده، تا اینکه سرعت تولید آن به سمت صفر میل می کند. این روند برای تیمارFWM و FAMبه ترتیب ۳۰ و ۴۵ روز به طول انجامید. ثنایی و همکارانش (۲۰۱۴) نیز همین روند را در تولید بیوگاز از سه تیمار اختلاط کود گاوی و ضایعات سیب زمینی گزارش داده اند[۵].کرایورچکو و همکارانش (۲۰۰۹) نیز با افزودن محیط کشت باکتری‌های متان ساز (که شامل شیرابه یک پایلوت صنعتی تولید بیوگاز بود)، به میزان ۲۰درصد حجم مفید هاضم، نقطه اوج تولید بیوگاز از ضایعات چغندر قند را در ده روز اول مشاهده کردند[۸].

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است میزان تولید بیوگاز در تیمار MWF و تیمارهای FAM(70:30, 80:20)به ترتیب ۲۱۰، ۴۱۵ و ۳۴۴/۵ (l/kgTS) بود. می توان نتیجه گرفتکه اختلاط کود گاوی به پسماند گل اثر مثبت بر روی عملکرد تولید بیوگاز داشته به طوریکه حدود ۹۸ درصد افزایش در حجم بیوگاز در تیمار ۷۰:۳۰ و ۶۴ درصد افزایش در تیمار ۸۰:۲۰ نسبت به حجم بیوگاز تولید شده در تیمار کود گاوی بدون اختلاط، قابل محاسبه است. و از طرفی حجم قابل توجهیاز بیوگاز در تیمار پسماند گل بدون کود گاوی، تولید نگردیده است.

۳-۲ میزان متان و انرژی تولید شده

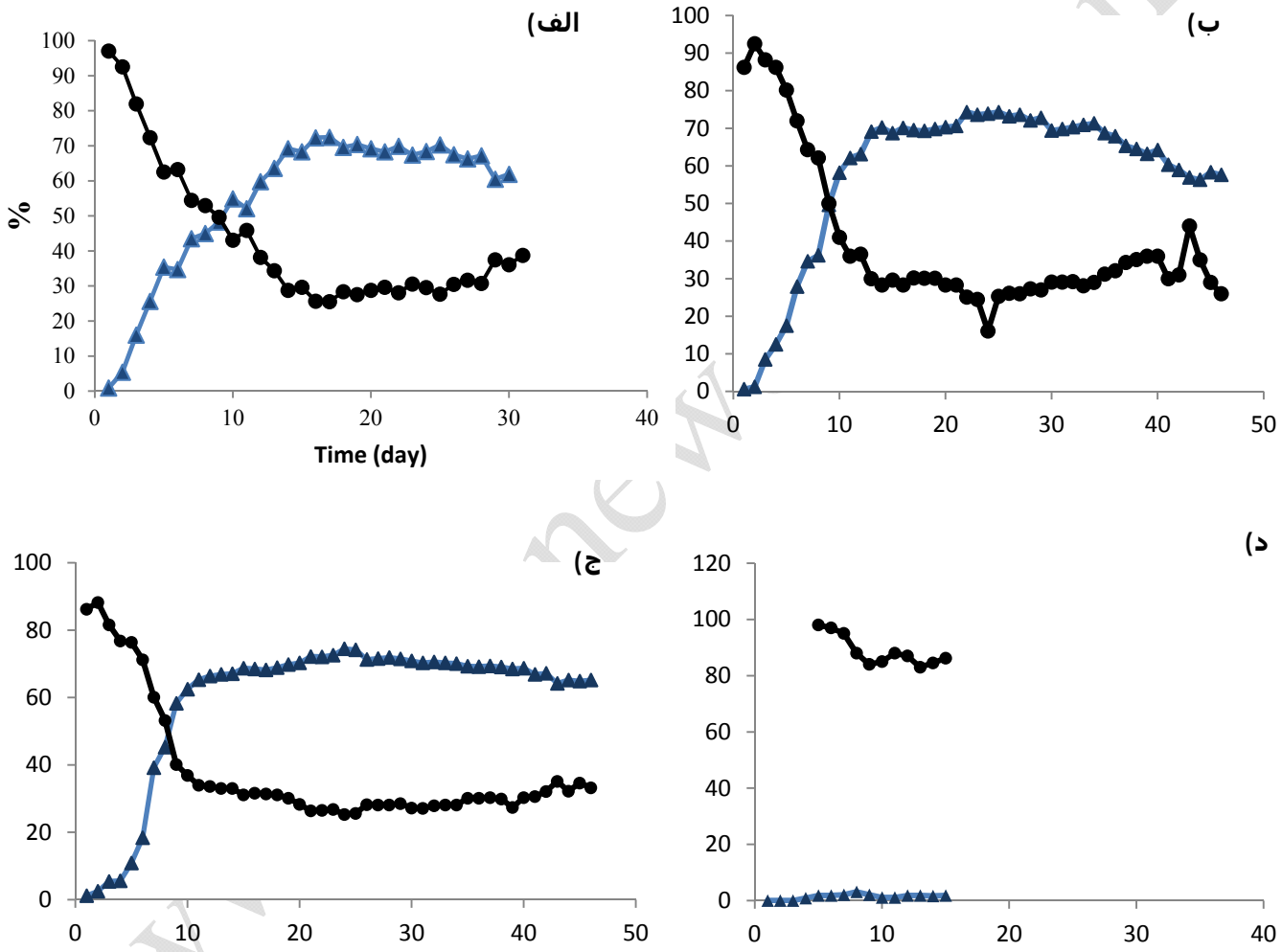
در شکل ۴روند تغییرات درصد متان و دی اکسید کربن در بیوگاز تولید شده در هر تیمار نشان داده شده است. مطابق این نمودارها در تمامی تیمارها (FWM) در روزهای ابتدایی بدلیل اینکه فرآیند هضم بی هوازی در مراحل هیدرولیز و اسید سازی قرار دارد، CO_2 بیشترین سهم را در بیوگاز تولید شده دارد ولی به مرور زمان و تحت شرایط محیطی مناسب میزان تکثیر و فعالیت باکتری‌های متان‌سازها افزایش و متعاقبا سهم CH_4 در بیوگاز بهبود می یابد تا به بیشتربن مقدار خودبه میزان ۷۲٪ در تیمار FAM برسد.

جدول۳. مقایسه میزان بیوگاز، متان و انرژی معادل در تیمارهای آزمایشی

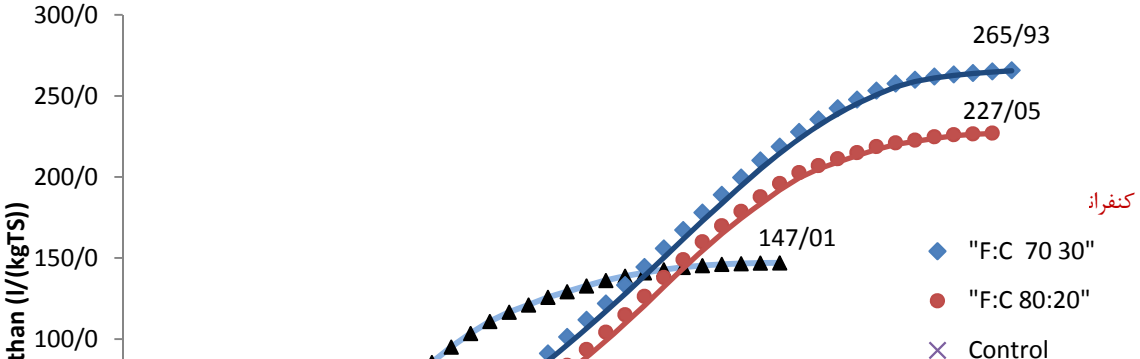
نوع تیمار	Biogas	CH_4		Energy (Kwh/kgTS)
		٪ CH_4**	l/kgTS	
MWF	*۲۱۰	۵۵/۰	۱۴۷/۰	۱/۵
FAM (70:30)	۴۱۵/۰	۶۴/۲	۲۶۶/۰	۲/۸
FAM(80:20)	۳۴۴/۵	۶۵/۹	۲۲۷/۰	۲/۴
FWM	---	---	----	-----

*** اعداد مربوط به میانگین دو تکرار است. ** اعداد میانگین درصد متان کل روزهای ماند برای هر تیمار است**

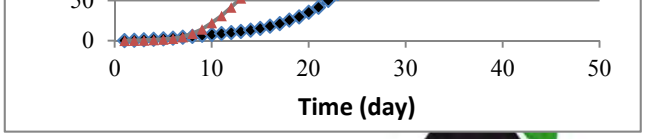
مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ – ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir



شکل۴، نمودار تغییرات درصد متان (علامت مثلث) و درصد دی اکسید کربن (علامت دایره) در تیمارهای الف) MWF و ب) FAM(70:30)، ج) FAM (80:20) و د) FWM



مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
شماره شابک مقالات: ۵– ۴۶ – ۸۰۴۵ – ۶۰۰ – ۹۷۸
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
www.RENEWENERGY.ir

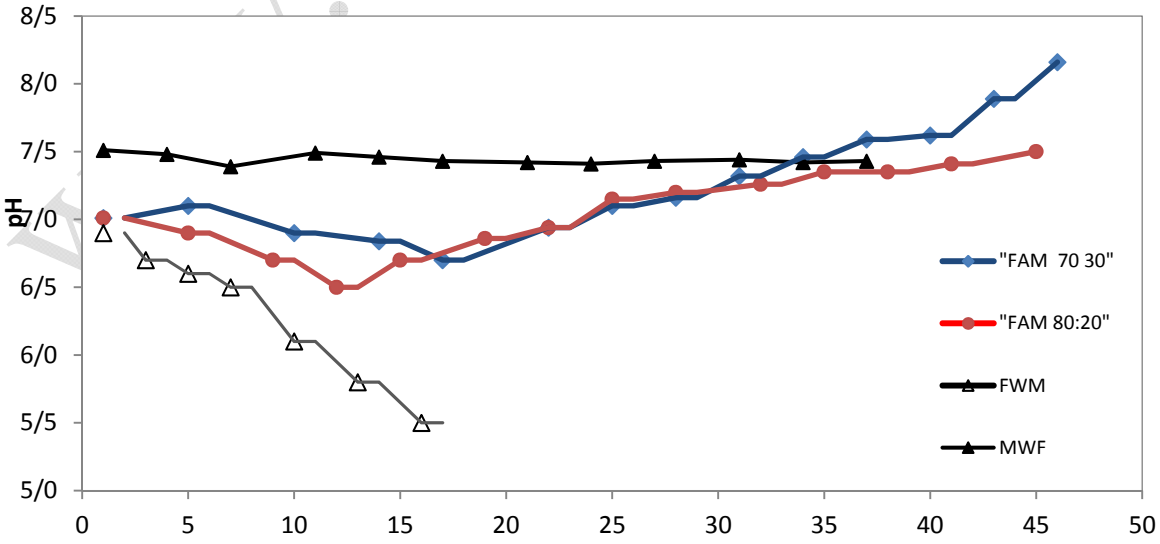


در شکل ۵، منحنی های تجمعی متان برای هریک تیمارها نشان داده شده است. مطابق این نمودارها شیب رو به صفر انتهایی آنها نشان دهنده هضم نسبتا کامل مواد داخل هاضم می باشد. در جدول ۳ نیز میانگین درصد متان در طول فرآیند و همچنین میزان حجم ویژه متان تولید شده نیز نشان داده شده است. مقایسه میزان کل متان تولید شده در دو تیمار نشان می دهد که متان تولید شده در اثر استفاده از اختلاط پسماندگل، مقدار آن را حدود ۱۰۰٪ افزایش داده است.

با در نظر گرفتن ارزش حرارتی متان به میزان $۱۰/۵ kWh/m^3$، انرژی معادل متان تولید شده در هر دو تیمار به ترتیب ۱/۵۴ و ۲/۸ کیلووات ساعت به ازای هر کیلو ماده خشک بدست می آید.

۳-۳ تغییرات pH

میزان اسیدیته (pH)، یکی از فاکتورهای مهم در روند تولید بیوگاز می‌باشد؛ به طوریکه تغییرات آن نشان دهنده نوع و وضعیت فعالیت باکتریهای بی‌هوازی می‌باشد. همانطور که در نمودار شکل ۶مشخص می باشد، روند تغییرات pH در تیمارهای آزمایشی متفاوت می باشد. در تیمار FWM مشاهده می‌گردد که pH، خارج از محدوده بهینه(۷/۵ – ۶/۸) برای فعالیت باکتری‌های متان‌ساز می‌باشد[9]و طی حدود ۳۰ روز از مدت ماند مواد در داخل هاضم مقدار آن به محدوده موردنظر نرسید. ولی در رابطه با تیمار MWF به علت وجود محیط غنی از باکتری‌های متانساز مشاهده می‌گردد که میزان pHبین ۷/۵۱ – ۷/۴۱ متغیر بوده و در کمترین مقدار خود به ۷/۴ رسیده است. در تیمارهایFAM روند مشابهی مشاهده می شود به طوریکه، در ده روز ابتدایی روندی کاهشی داشته (از ۷/۱ به ۶/۶) و دوباره روندی افزایش را طی نموده تا اینکه به حداکثر مقدار خود ۷/۴ تا ۷/۹ برسد. مطابق با تئوری فرآیند هضم بی‌هوازی[9]، کاهش میزان pH نیز در این مدت، نشان دهنده‌ی افزایش غلظت اسیدهای چرب فرار در مرحله اسیدسازی فرآیند است. در روزهای بعد با افزایش جمعیت باکتری‌های متانساز، pH و متعاقبا سرعت تولید بیوگاز و همچنین میزان متان موجود در بیوگاز به طور معناداری افزایش می یابد. پاراویراوهمکارانش (۲۰۰۵) درتحقیقخودبررویتولیدبیوگازازضایعاتسیبزمینیدریکسیستمدومرحله‌اینیزروندمشابهیدرتغییراتpHهاضممرحلهاولداشتند،ولیدر هاضممرحلهدومکهحاویمقدارغنی‌تریازمیکرواورگانیسم‌هایمتانسازبود،تغییراتpHکمترمشاهده گردید[۱۰]. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات پاراویرا و همکارانش (۲۰۰۸) و کرایوورچکو و همکارانش (۲۰۰۹) نیز قابل مقایسه می باشد[۸،۱۱].



شکل۶، نمودار تغییرات pH در طی فرآیند هضم بی هوازی برای تیمارهای : MWF علامت مثلث، FAM(70:30)(با علامت ۴گوش) و FAM(80:20) با علامت دایره و FWM(مثلث تو خالی)

۴- نتیجهگیریوجمعبندی

در این تحقیق سعی بر این بود،بررسی عملکرد تولید انرژی از پسماند گلبه روش هضم بی هوازی، مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور آزمایش‌ها در چهار تیمار،کود گاوی (M) بدون اختلاط، پسماندگل(F)بدون اختلاط و اختلاط هر دو ماده به نسبت های (F:M) ۲۰:۸۰ و ۳۰:۷۰ انجام گرفته شد. برای انجام آزمایش‌ها از ۴ هاضم بی هوازیموجود در آزمایشگاه سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد استفاده گردید. این هاضم‌ها دارای مشخصات یکسان و مجهز به سیستم کنترل خودکار دما و همزنی بودند. بیشترین تولید متان به میزان ۲۶۶l/kgTS در تیمار اختلاط ۳۰:۷۰ حاصل گشت؛که این مقدار نسبت به متان تولید شده در تیمار کود گاوی بدون اختلاط، نزدیک به ۱۰۰درصد افزایش داشت. این در حالیست که در تیمار پسماند گل بدون اختلاط، تولید گاز به صورت معنی دارمشاهده نگردید.لذا به طور کلی، تزریق مایع‌های تلقیح که حاوی جمعیت باکتری‌های متان‌ساز باشند ضروری و لازم به نظر می‌رسد. این ماده تلقیح می‌تواند هم به صورت آزمایشگاهی و با جداسازی و تکثیر باکتری‌های متان‌ساز در محیط‌های کشت مخصوص به خود تولید شود و هم از پساب خروجی هاضم‌هایی که تولید متان در آن با موفقیت انجام گرفته است، تهیه گردد؛که در این روش، فاصله زمانی و تغییرات زمانی باید کنترل شده باشد.

با توجه به بیشترین انرژی استحصالی معادل متان تولید شده در آزمایش های این مطالعه، به مقدار ۲/۸ کیلووات ساعت انرژی به ازای هر کیلو ماده خشک پسماند گل و نیز با در نظر گرفتن حجم نسبتا بالای تولید گل و پسماند آن، می تواند منبع قابل توجهی برای تأمین انرژی منطقه‌ای محسوب گردد. علاوه بر اینکه منافع زیست محیطی و اجتماعی مناسبی برای ساکنین منطقه دربرخواهد داشت، که البته اجرائی نمودن و بهره‌برداری بهینه از این منبع دائمی، نیازمند ارزیابی‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی دقیق و جامع تری می‌باشد.

جدول علائم و اختصارات

CHP	تولید توأم برق و حرارت
C	کربن
C:N	نسبت کربن به نیتروژن
CH_4	متان
CO_2	دی اکسید کربن
EC	قابلیت هدایت الکتریکی
kg	کیلوگرم
kw	کیلو وات
l	لیتر
N	نیتروژن
pH	اسیدیته
TS	ماده خشک کل (Total Solid)
VS	ماده آلی فرار (volatile solid)
Wet	رطوبت

www.Renewenergy.ir

مراجع

[1] ArunKansal, K V Rajeshwari, MaliniBalakrishnan,KusumLata, VVN Kishore 1998. Anaerobic diegestion technologies for energy recovery from industrial wastewater- a study in Indian context. TERI Information Monitor on Environmental Science(TIMES) 3(2) : 67-75.

[2] *S. J. Ojolo, A. I. Bamgboye, B. S. Ogunsina, S. A. Oke, Analytical approach for predicting biogas generation in a municipal solid waste ofanaerobic digester, 2008, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2008, Vol. 5, No. 3, pp. 179-186.*

[3] D. Elango, M. Pulikesi, P. Baskaralingam, V. Ramamurthi, S. Sivanesan, Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage, 2006, Journal of Hazardous Materials 141 (2007) 301–304

[4] H. LlanezaCoalla , J.M. Blanco Fernandez, M.A. Moris Moran, M.R. Lopez Bobo, Biogas generation apple pulp,2009. Bioresource Technology 100(2009)

[5] Sanaei-Moghadam, A., Abbaspour-Fard, M.H., Aghel, H., Aghkhani, M.H,. 2014. Enhancement of Biogas Production by Co-digestionof Potato Pulp with Cow Manure in a CSTR System. ApplBiochemBiotechnol. DOI 10.1007/s12010-014-0972-5

[۶] بی نام، آمارنامه سالیانه وزارت جهاد کشاورزی ایران، ۱۳۹۲.

[7] Yadvika., Santosh., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S. and Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. Bioresource Technology, 95:1-10

[8] VitaliyKryvoruchko, Andrea Machmuller, VitomirBodiroza, Barbara Amon, Thomas Amon.2008.Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing.*biomass and bioenergy* 33, 620–627.

[۹] ماروسی، م. لیلی، م. ۱۳۸۸. میکروبیولوژی هاضم های بی هوازی. ترجمه. چاپ اول انتشارات تهران، تهران.

[10] W. Parawira, M. Murto, J.S. Read, B. Mattiasson. 2005. Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste.*Process Biochemistry* 40, 2945–2952.

[11] W. Parawiraa, J.S. Readc, B. Mattiassona, L. Bjornsson. 2008.Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and bioenergy* 32,44–502003.

www.Renewenergy.ir