KNO-1001-3903

تعیین عملی پتانسیل تولید برق از زائدات پوست سبز پسته

علی نظری، اکبر شعبانی‌کیا
وزارت نیرو، سازمان انرژیهای نو ایران (سانا)
amt274@yahoo.com

چکیده: سالانه صدها هزار تن زائدات پوست سبز پسته در کشور تولید می شود که حاوی مقداری قارچ افلاتوکسین است. رها سازی این زائدات، پراکندگی این قارچ در مناطق کشت پسته را به دنبال خواهد داشت، این عمل باعث خواهد شد که هر ساله گونه‌های مقاوم‌تری از این قارچ بوجود آید و صنعت پستهٔ کشور که درصد قابل توجهی از صادرات غیر نفتی را به خود اختصاص می دهد، آسیب ببیند.

وجود مقدار زیادی از این زائدات و مشکلات فراوان ناشی از رهاسازی این منابع در طبیعت باعث شده است که سازمان‌ها و نهادهای دست اندرکار، بدنبال یافتن راهی مناسب برای رهایی از این معضل باشند. هضم بیهوازی و تولید بیوگاز ضمن استحصال انرژی، می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای دفع بهداشتی و حل مشکلات بعدی این زائدات آلی مورد توجه قرار گیرد. بررسی های انجام شده در راکتورهای مختلف نشان می دهد که این زائدات آلی فسادپذیر، پتانسیل مناسبی برای تولید برق با بهره گیری از فناوری هضم بیهوازی دارند. نتایج فعالیت‌های انجام شده نشان می‌دهد که به ازاء هر تن مادهٔ خشک پوست سبز پسته می توان ۲۶۳ متر مکعب بیوگاز بدست آورد که در صورت بهره گیری از موتورهای بیوگازی مناسب (با بازده ۳۷ درصد) مقدار ۵۸۳ کیلووات برق تولید نمود. در این مقاله ضمن ارائه فعالیت‌های تجربی انجام شده در این راستا، به بررسی نحوه هضم بیهوازی این زائدات و چگونگی استحصال انرژی از آنها، پرداخته خواهد شد. نتایج و داده‌های حاصل از این کار عملی می‌تواند در طراحی نیروگاه‌های بیوگازی به کار رود.

کلید واژه‌ها: انرژی؛ برق؛ بیوگاز؛ هضم بیهوازی

۱. مقدمه

در فرایند هضم بیهوازی مولکول‌های آلی درشت زنجیر تحت تأثیر میکروارگانیسم‌های بیهوازی در غیاب اکسیژن شکسته شده و به مولکول‌های ساده تر تبدیل می‌شوند. حاصل نهایی این فرایند یک مخلوط گازی قابل اشتعال است که بیوگاز نام دارد، این گاز شامل ۷۰ – ۶۰ متان و ۴۰ – ۳۰ دی اکسید کربن به همراه ناخالصی‌های جزئی دیگر می‌باشد. این گاز بی رنگ و بی بو دارای ارزش حرارتی ۵۲۹۰ kcal/m3 بوده و می تواند به طور مستقیم برای تولید برق، برق – حرارت و روشنایی بکار رود.

مکانیسم تولید بیوگاز در فرایند هضم بیهوازی نسبتاً پیچیده وتحت تأثیر عوامل شیمیایی و بیوشیمیایی متنوعی می‌باشد, این مکانیسم به طور کلی به سه مرحله تقسیم می گردد.

مرحله اوّل: هیدرولیز مواد آلی پیچیده و نامحلول و تبدیل این مواد به ترکیبات محلول

مرحله دوّم: ترکیبات آلی محلول حاصل از مرحله اول به وسیله باکتری‌های اسید ساز شکسته شده و در نتیجه اسیدهای آلی تولید می شود. معمولاً هیدروکربن‌های پنج و شش کربنی در آب حل شده و توسط باکتری‌های اسید ساز مورد مصرف واقع

شده و به ترکیباتی از قبیل هیدروژن , فورمات , استات , پروپیونات و گاز کربنیک تبدیل می گردند.

مرحله سوّم : تمام ترکیبات آلی و اسیدهای تولید شده در مرحله اسیدسازی توسط باکتریهای متان ساز به بیوگاز تبدیل میگردند.

فرایند هضم بیهوازی در محدوده دمایی نسبتاً وسیع ۶۵-۱۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد. مناسب‌ترین درجه حرارت برای تولید بیوگاز از نظر فنی و اقتصادی حدود ۳۷ درجه سانتیگراد می‌باشد.

فرایند هضم بیهوازی و تولید بیوگاز مانند سایر واکنش‌های بیوشیمیایی تحت تأثیر عوامل شیمیایی و فیزیکی متنوعی است که مهمترین آنها عبارتند از : دما، PH ، نسبت C/N، میزان حضور عوامل سمّی، میزان مواد مغذی موجود در محیط، سرعت همزدن، ثبات و پایداری سیستم و...

در این تحقیق به منظور تعیین میزان پتانسیل کیفی تولید برق از زائدات پوست پسته، ابتدا نمونه‌های مناسب از این زائدات تهیه و سپس در شرایط مناسب، هضم بیهوازی این زائدات در در محدودهٔ دمایی مزوفیلیک در راکتورهای آزمایشگاهی انجام گرفت. در این مقاله ضمن معرفی راکتور به کار رفته، نتایج مطالعات هضم بیهوازی و پتانسیل تولید برق از این زائدات ارائه می‌گردد

۲-مشخصات راکتور

راکتور طراحی شده برای این مطالعات دو جداره بوده و از جنس شیشه ساخته شده است و دارای حجم مفید ۴/۵ لیتر می‌باشد. با استفاده از سیرکولاسیون آب گرم در جدارهٔ بیرونی راکتور، با کمک یک دستگاه بن ماری و یک عدد پمپ، دمای محتویات به طور منظم کنترل شده و با استفاده از یک همزن مغناطیسی مناسب در فواصل زمانی منظم محتویات راکتور به هم زده می شود. همچنین بیوگاز تولیدی از طریق یک لولهٔ خروجی به یک مخزن گاز شیشه ای شناور منتقل و جمع آوری می‌شود.

کار با یک راکتور آزمایشگاهی، آسانتر از یک راکتور صنعتی است و کنترل شرایط و نظارت بر پارامترهای مختلف مورد نظر، عملی‌تر بوده و از نظر اقتصادی نیز ارزانتر است. علاوه بر این در مقیاس آزمایشگاهی، تکرار پذیری آزمایشات در شرایط مختلف و مقایسهٔ آنها با هم امکان پذیرتر است.

۳- دستگاه‌های مورد استفاده

در این مطالعه علاوه بر طراحی و ساخت راکتور بیهوازی، از دستگاه‌های اسپکتروفتومتر UV-VIS، دستگاه سنجش BOD، دستگاه سنجش COD، دستگاه سنجش اسیدیته همگی ساخت کمپانی HACH، انکوباتورهای قابل برنامه ریزی مختلف ساخت کمپانی MEMERT، دستگاه گاز کروماتوگرافی GC14B ساخت کمپانی SHIMADZU ، ترازوی دیجیتال SARTORIUS با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم و به همراه روش‌های کلاسیک جهت بررسی و آنالیزهای مورد نیاز استفاده گردید. کلیه آنالیزهای فوق بر اساس روش های استاندارد متد انجام گردید

۴-فعالیت‌های تجربی

راکتور آزمایشگاهی تا حجم ۴/۲ لیتر با فضولات تازه گاوی به عنوان استارتر بارگیری شد. سپس با کنترل شرایط دمایی و سیرکولاسیون محتویات و آبگرم جهت کنترل دمای راکتور، به میکرو ارگانیسم‌ها آنقدر زمان داده شد که گازدهی به انتهای دورهٔ خود برسد. در انتهای دوره گازدهی کم شده و راکتور، سرشار از میکروارگانیسم‌های بیهوازی است و محیط برای بارگیری با زائدات پوست پسته آماده می باشد.

ابتدا ۳۰۰ گرم از زائدات پوست پسته وزن شده، خرد گردیده و سپس به آن ۶۰۰ میلی لیتر آب اضافه شد. محلول فوق در یک حمام آب گرم قرار داده شـــد و گرم کردن تدریجی آن آغاز گردید. دمای محلول به مدت ۱۰ دقیقه در $75^{\circ}C$ ثابت نگه داشته شد، سپس محلول پوشانده شده و در یخچال نگهداری شد-. مشخصات این محلول به شرح زیر بود :

PH = 6.15
TS = 6.7084 %
VS = 65.901 %

اکنون با اســـتفاده از این محلول، بارگیری پلکانی راکتور آزمایشگاهی شروع گردید. ابتدا حجمی از محلول به داخل یک بشر مناسب منتقل و سپس هم اندازه آن آب جهت رقیق سازی

به بشر اضافه شد. با استفاده از یک دستگاه بن ماری، دمای محتویات این بشر به دمای راکتور رسانده می شد. سپس معادل این حجم از محتویات راکتور تخلیه و محتویات بشر به راکتور اضافه می‌شد.

این عمل روزانه و یا هر چند روز یکبار انجام شد تا به میکروارگانیسم های بیهوازی فرصت داده شود تا خود را با شرایط جدید وفق دهند. نتایج حاصله در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۱: اسیدیته و درجه حرارت محتویات راکتور

ردیف	روز سپری شده	PH	T (°C)	حجم خوراک اضافه شده
۱	۱	۷/۱۴	۴۰	۴۰ CC
۲	۲	۷/۱۱	۴۰	۴۰ CC
۳	۳	۷/۰۷	۴۰	۴۰ CC
۴	۴	۷/۱۳	۴۱	۵۰ CC
۵	۷	۷/۲۵	۴۱	۶۰ CC
۶	۸	۷/۲۷	۴۰/۵	۷۰ CC
۷	۹	۷/۲۱	۴۰/۵	۸۰ CC
۸	۱۰	۷/۱۲	۴۱	۹۰ CC
۹	۱۳	۷/۳۷	۴۰/۵	۱۰۰ CC
۱۰	۲۱	۷/۳۱	۴۰	۹۰ CC

۱-۴- بررسی تغییرات در اسدیته راکتور

اندازه‌گیری اسیدیته با استفاده از یک دستگاه PH متر دیجیتالی ویژهٔ آب و فاضلاب صورت گرفت، وضعیت اسیدیتهٔ سیستم تقریباً حالت پایداری را نشان داده و ناپایداری‌های ملاحظه شده در بارگیری‌های قبلی کمتر در سیستم مشاهده گردید. در این دوره PH حداقل ۷/۲۳ و حداکثر ۷/۴۴ به شرح زیر در نوسان بوده است.

اکنون که راکتور شرایط پایدارتری را بد ست آورده بود و تولید بیوگاز از این زائدات به خوبی در حال انجام بود، بارگیری روزانه متوقف گردید تا گازدهی سیر نزولی پیدا نماید.

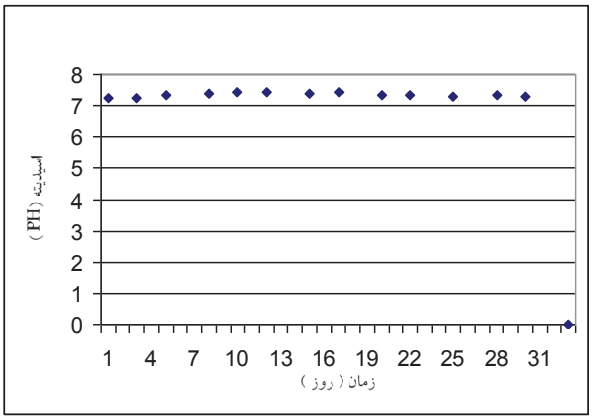
بعد از کاهش تولید بیوگاز، مجدداً راکتور با زائدات پوست پسته بارگیری شد. ابتدا ۲۰۰ گرم از زائدات پو ست پ سته- تفکیک شده، خرد گردیده و با ۴۰۰ میلی لیتر آب رقیق گردید، سپس با استفاده از یک حمام آبگرم دمای این محلول به مدت ۱۰ دقیقه در $75^{\circ}C$ ثابت نگهداری شد، این محلول دارای مشخصات زیر است :

PH = 6.23
TS = 7.1384 %
VS = 66.39 %
COD = 98800 mgr/lit
BOD = 61400 mgr/lit

مقدار ۶۰۰ میلی لیتر از محتویات راکتور تخلیه گردید، راکتور قبل از بارگیری دارای مشخصات زیر بود :

PH = 7.46
T = 40 °C
TS = 1.3916 %
VS = 43.17 %

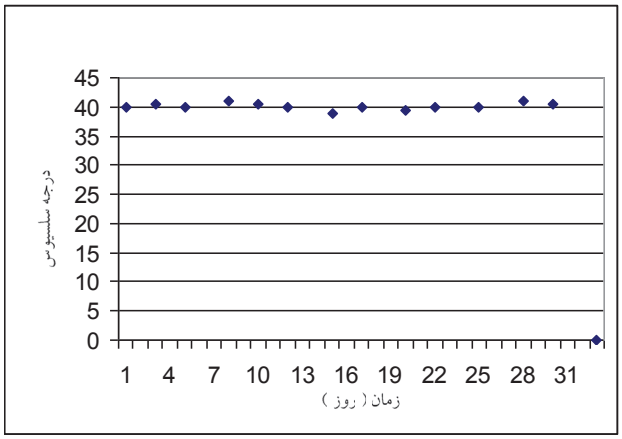
سپس دمای محلول تهیه شده از زائدات پوست پسته با استفاده از یک بن ماری به دمای حدود $40^{\circ}C$ رسانده شده و به راکتور آزمایشگاهی اضافه گردید. جهت تعیین فعل و انفعالات موجود در محتویات راکتور به صورت منظم نمونه گیری هایی به عمل آمد و آنالیزهای PH , T , TS , VS , COD , BOD و... بر روی محتویات انجام گرفت و حجم گاز تولیدی روزانه کاملاً به دقت یادداشت گردید. نتایج آنالیزهای انجام شده در این دوره مطالعاتی در جداول و نمودارهای زیر ارائه شده است.



شکل ۲: تغییرات اسیدیته راکتور

۴-۲- بررسی وضعیت درجه حرارت محتویات راکتور

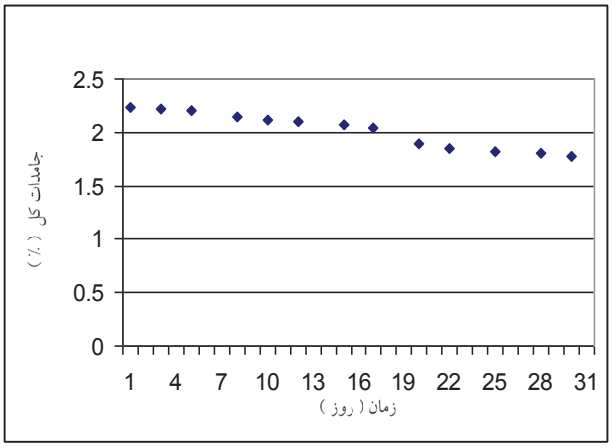
در این دوره مطالعات در محدودهٔ دمایی مزوفیلیک انجام گرفت، لذا با استفاده از سیستم دو جداره راکتور و سیرکولاسیون آب گرم درجه حرارت محتویات در محدودهٔ ۱±۴۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. چند ساعت پس از تغذیه با استفاده از سیرکولاسیون آبگرم، دمای محتویات راکتور به ۱±۴۰ درجه سلسیوس رسید. درجه حرارت راکتور به صورت منظم اندازه گیری شده و نتایج به شرح زیر در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲: درجه حرارت راکتور

۴-۳- بررسی تغییرات در جامدات کل (TS)

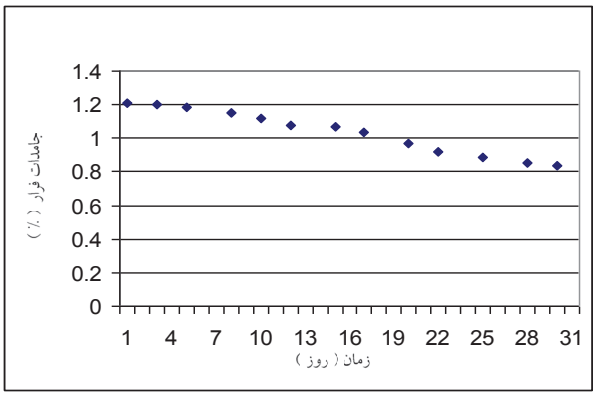
با تهیه نمونه‌های مناسب از محتویات راکتور و انجام آنالیز مربوطه میزان پارامترTS به تناوب در طول دوره مورد بررسی قرار گرفت. میزان کاهش TS در طول این دوره مطالعاتی ۴۴/۱۹ درصد بوده است. نحوهٔ تغییر در پارامترTS محتویات راکتور در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳: تغییرات جامدات کل راکتور

۴-۴- بررسی تغییرات در جامدات فرار (VS)

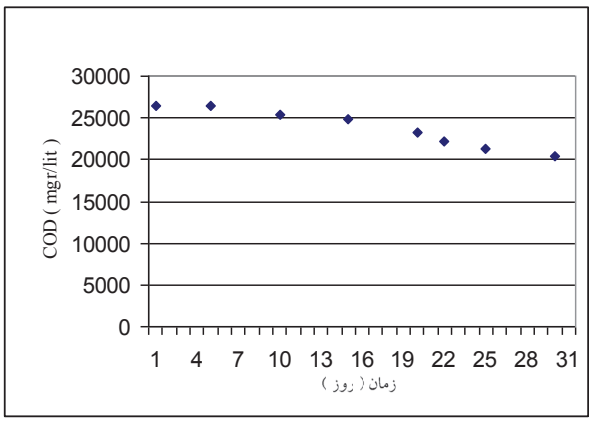
با تهیه نمونه های مناسب از محتویات راکتور و انجام آنالیز مربوطه میزان پارامتر VS به تناوب در طول دوره مورد برر سی قرار گرفت. میزان کاهش VS در طول این دوره مطالعاتی ۵۴/۱۴ درصد بوده است. نحوهٔ تغییر در پارامتر VS محتویات راکتور در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴: تغییرات جامدات فرار راکتور

۴-۵-بررسی تغییرات COD راکتور

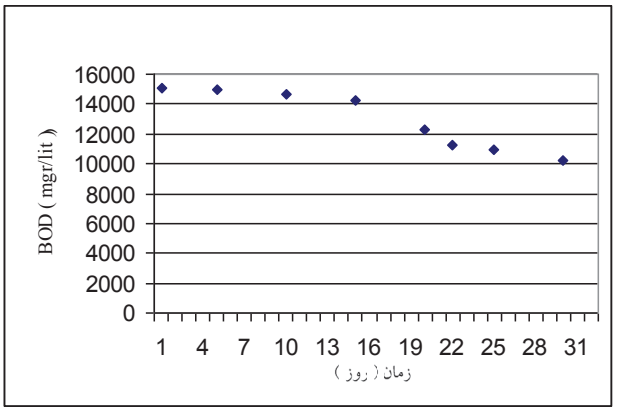
جهت بررسی میزان کاهش COD محتویات راکتور در طول دورهٔ مطالعاتی، نمونه‌های مناسب از محتویات تهیه گردید و آنالیز COD مطابق روش استاندارد متد صورت گرفت، بررسی نتایج آنالیزCOD نشان میدهد که در طول این دورهٔ مطالعاتی ۴۲/۷۹ درصد کاهش در مقدار COD حاصل شده است. در شکل ۵ چگونگی این تغییرات مشاهده می‌گردد.



شکل ۵: تغییرات COD محتویات راکتور

۴-۶- بررسی تغییرات BOD راکتور

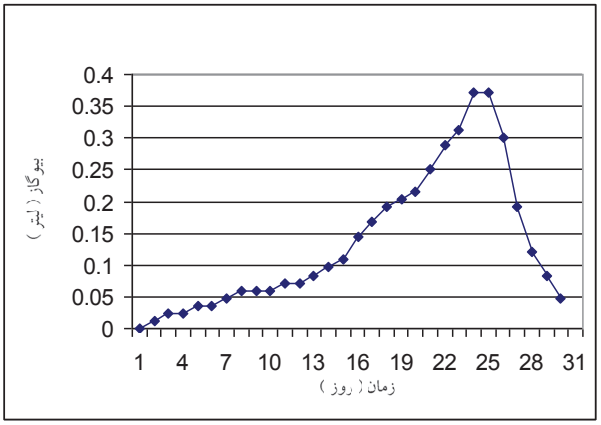
جهت بررسی میزان کاهش BOD محتویات راکتور در طول دورهٔ مطالعاتی نمونه‌های مناسب از محتویات تهیه گردید و آنالیز BOD مطابق روش استاندارد متد صورت گرفت، بررسی نتایج آنالیزBOD نشان می‌دهد که در طول این دورهٔ مطالعاتی ۵۵/۸۶ درصد کاهش در مقدار BOD حاصل شده است. در نمودار ۶ چگونگی این تغییرات مشاهده می‌گردد.



شکل ۶: تغییرات BOD محتویات راکتور

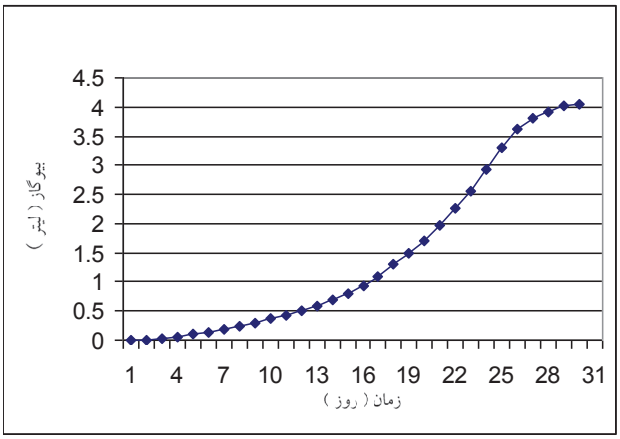
۴-۷-بررسی وضعیت تولید بیوگاز

جهت بررسی وضعیت تولید بیوگاز در این دورهٔ مطالعاتی حجم گاز تولیدی به صورت روزانه ثبت گردید، نتایج مربوطه در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷: سرعت روزانه تولید بیوگاز

حجم کل بیوگاز تولیدی دوره در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸: حجم بیوگاز تولیدی

۵-نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج حاصله در جدول ۲ آورده شده است :

جدول ۲: چکیدهٔ آنالیزهای انجام شده

پارامتر	*مقدار ورودی (گرم)*	*مقدار حذف شده(گرم)*	*درصد حذف*
TS	۴۲/۸۳	۱۸/۹۳	۴۴/۱۹
VS	۲۸/۴۳۵	۱۵/۴۰۵	۵۴/۱۴
COD	۵۹/۲۸	۲۵/۳۶۸	۴۲/۷۹
BOD	۳۶/۸۴	۲۰/۵۸	۵۵/۸۶

با توجه حجم بارگیری شده راکتور، که معادل ۴/۲ لیتر بوده است و چکیدهٔ آنالیزهای انجام شده (جدول ۲) میزان پارامترهای حذف شده در طول دوره را حساب کرده و سپس با توجه به میزان بیوگاز تولیدی در طول کل دوره (۴/۰۵۶ لیتر) مقدار بیوگاز تولیدی به ازاء هر کیلوگرم از پارامتر های حذف شده را حساب می کنیم، نتایج در جدول ۳ آورده شده است:

جدول ۳: میزان بیوگاز به ازاء حذف هر کیلوگرم پارامتر مربوطه

پارامتر	*مقدار حذف شده (گرم)*	*بیوگاز تولیدی کل دوره*	*لیتر بیوگاز تولیدی به ازاء حذف هر کیلو گرم از پارامتر مربوطه*
TS	۱۸/۹۳	۴/۰۵۶ لیتر	۲۱۴
VS	۱۵/۴۰۵	۴/۰۵۶ لیتر	۲۶۳
COD	۲۵/۳۶۸	۴/۰۵۶ لیتر	۱۶۰
BOD	۲۰/۵۸	۴/۰۵۶ لیتر	۱۹۷

با توجه به مقدار بیوگاز تولیدی به ازاء حذف هر تن مادهٔ خشک آلی و با استفاده از موتورهای بیوگازسوز مناسب می توان مقدار ۵۸۳ کیلووات ساعت برق به ازاء حذف هر تن مادهٔ خشک آلی تولید نمود. در ضمن در صورت استفاده از موتورهای احتراق داخلی مناسب می-توان حدود ۱/۵ برابر این مقدار انرژی حرارتی نیز تولید نمود.

منابع

[۱] اکبر شعبانی کیا، علی نظری، بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان،تهران،صص ۱۲۱۴ – ۱۲۰۷،۱۳۸۲.

[۲] اکبر شعبانی کیا، علی نظری، بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان،تهران،صص ۱۹۶۹ – ۱۹۶۰،۱۳۸۲.

[۳] اکبر شعبانی کیا، علی نظری،مرتضی خلجی اسدی، بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، بررسی تأثیر احداث نیروگاه بیوگازی در تأمین انرژی و کاهش معضلات زیست محیطی مواد زائد شهری در تهران،۱۳۸۳.

[۴] اکبر شعبانی کیا، گیتی طالقانی، علی نظری، کنفرانس اکو انرژی ایران ۱۳۸۳، دانشگاه ارومیه، کد مقاله ۸۰۰۲

[۵] علی نظری، اکبر شعبانی کیا، بیستمین کنفرانس برق ایران، تهران ۱۳۸۴، کد مقاله ۹۸-F-ENV-173

[۶] جلا الدین شایگان، حسین مهدیزاده، فریده قوی پنجه، اولین سمینار بیوگاز در ایران ۱۳۷۵، سازمان انرژی اتمی ایران صص ۴۶ – ۳۲

[10] Akbar Shabani Kia, Giti Taleghani, Ali Nazari , Biogas incentive in Iran, Rio3 – world climate & Energy Event 1-5 Dec 2003 , Rio de Janeiro , Brazil , pp 301-310

[12] Akbar Shabani Kia, Ali Nazari, Economical and environmental protection effect's of Biogas power plant building in Iran and other countries 3rd Iranian seminar of chemistry and environment , sept 27 - 29 , 2005 Kurdistan university