

تعیین عملی پتانسیل تولید برق از زائادات پوست سبز پسته

علی نظری ، اکبر شعبانی‌کیا

وزارت نیرو ، سازمان انرژیهای نو ایران (سانا) ، صندوق پستی ۱۱۶۹ - ۱۴۶۶۵

amt274@yahoo.com

نتایج و داده‌های حاصل از این کار عملی می‌تواند در طراحی نیروگاه‌های بیوگازی به کار رود.

واژه‌های کلیدی — انرژی؛ برق؛ بیوگاز؛ هضم بیهوازی

چکیده — سالانه صدها هزار تن زائادات پوست سبز پسته در کشور تولید می‌شود که حاوی مقداری قارچ افلاتوکسین است . رها سازی این زائادات ، 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 پسته کشور که درصد قابل توجهی از صادرات غیر نفتی را به خود اختصاص می‌دهد، آسیب ببیند .

وجود مقدار زیادی از این زائادات 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 زائادات آلی مورد توجه قرار گیرد. بررسی‌های انجام شده در راکتورهای مختلف نشان می‌دهد که این زائادات آلی فسادپذیر، پتانسیل مناسبی برای تولید برق با بهره‌گیری از فناوری هضم بیهوازی دارند. نتایج فعالیت‌های انجام شده نشان می‌دهد که به ازاء هر تن ماده خشک پوست سبز پسته می‌توان ۲۶۳ متر مکعب بیوگاز بدست آورد که در صورت بهره‌گیری 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 زائادات و چگونگی استحصال انرژی از آنها، پرداخته خواهد شد.

۱. مقدمه

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 جداره 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 می‌شود. همچنین بیوگاز تولیدی از طریق یک لوله خروجی به یک مخزن گاز شیشه‌ای شناور منتقل و جمع‌آوری 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 مقایسه آنها با هم امکان پذیرتر است.

۳. دستگاه‌های مورد استفاده

در این مطالعه علاوه بر طراحی و ساخت راکتور بیهوایی، 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 روش‌های 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 ارگانیزم‌ها آنقدر زمان داده شد که گازدهی به انتهای دوره خود برسد. در انتهای دوره گازدهی کم شده و راکتور، سرشار از میکروارگانیزم‌های بیهوایی است و محیط برای بارگیری با زائادات پوست پسته آماده می‌باشد.

ابتدا ۳۰۰ گرم از زائادات 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 شد و گرم کردن تدریجی آن آغاز گردید. دمای محلول به مدت ۱۰ دقیقه در ۷۵°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 استفاده از این محلول، بارگیری پلکانی راکتور آزمایشگاهی شروع گردید. ابتدا حجمی از محلول به داخل یک بشر مناسب منتقل و سپس هم

در فرایند هضم بیهوایی مولکول‌های آلی درشت زنجیر تحت تأثیر میکروارگانیزم‌های بیهوایی در غیاب اکسیژن شکسته شده و به مولکول‌های ساده‌تر 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 دی‌اکسید کربن به همراه ناخالصی‌های جزئی دیگر می‌باشد. این گاز بی‌رنگ و بی‌بو دارای ارزش حرارتی ۵۲۹۰ kcal/m³ بوده و می‌تواند به طور مستقیم برای تولید برق، برق - حرارت و روشنایی بکار رود.

مکانیزم تولید بیوگاز در فرایند هضم بیهوایی نسبتاً پیچیده و تحت تأثیر عوامل شیمیایی و بیوشیمیایی متنوعی می‌باشد، این مکانیزم به طور کلی به سه مرحله تقسیم می‌گردد.

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

مرحله دوم: ترکیبات آلی محلول حاصل از مرحله اول به وسیله باکتری‌های اسید ساز شکسته شده و در نتیجه اسیدهای آلی تولید می‌شود. 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 می‌گردند.

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

فرایند هضم بیهوایی در محدوده دمایی نسبتاً وسیع ۴۵-۱۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد. مناسب‌ترین درجه حرارت برای تولید بیوگاز از نظر فنی و اقتصادی حدود ۳۷ درجه سانتیگراد می‌باشد.

فرایند هضم بیهوایی 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 سمی، 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 زائادات پوست پسته، ابتدا نمونه‌های مناسب از این زائادات تهیه و سپس در شرایط مناسب، هضم بیهوایی این زائادات در محدوده دمایی مزوفیلیک در راکتورهای آزمایشگاهی انجام گرفت. در این مقاله ضمن معرفی راکتور به کار رفته، نتایج مطالعات هضم بیهوایی و پتانسیل تولید برق از این زائادات ارائه می‌گردد.

۲. مشخصات راکتور

بعد از کاهش تولید بیوگاز، مجدداً راکتور با زائدات پوست پسته بارگیری شد. ابتدا ۲۰۰ گرم از زائدات پوست پسته- 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°C ثابت نگهداری شد، این محلول دارای مشخصات زیر است:

$$\text{PH} = 6.23$$

$$\text{TS} = 7.1384 \%$$

$$\text{VS} = 66.39 \%$$

$$\text{COD} = 98800 \text{ mgr/lit}$$

$$\text{BOD} = 61400 \text{ mgr/lit}$$

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

$$\text{PH} = 7.46$$

$$T = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\text{TS} = 1.3916 \%$$

$$\text{VS} = 43.17 \%$$

سپس دمای محلول تهیه شده از زائدات پوست پسته با استفاده از یک بن ماری به دمای حدود 40°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.

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 می شد.

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:

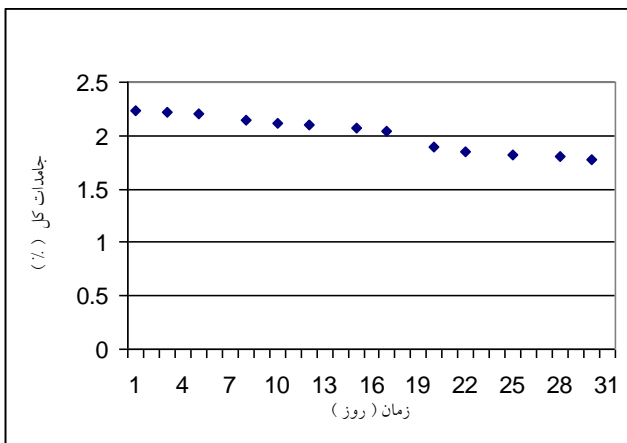
جدول ۱: اسیدیته و درجه حرارت محتویات راکتور

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

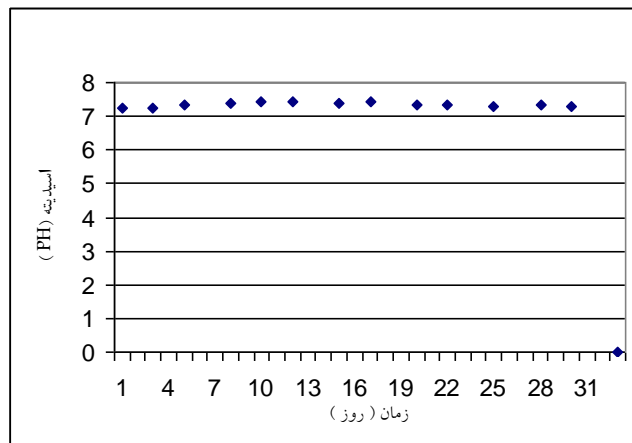
اکنون که راکتور شرایط پایدارتری را بدست آورده بود و تولید بیوگاز از این زائدات به خوبی در حال انجام بود، بارگیری روزانه متوقف گردید تا گازدهی سیر نزولی پیدا نماید.

۴.۱. بررسی تغییرات در اسیدیته راکتور

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



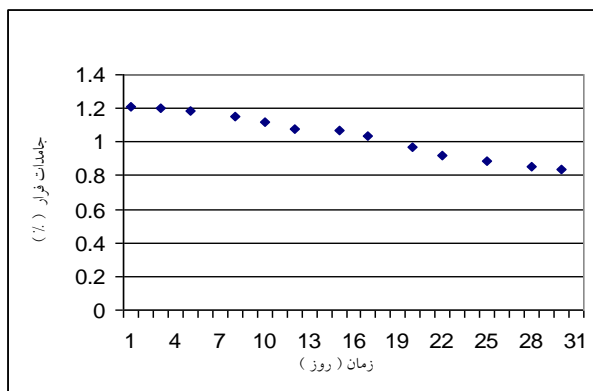
شکل ۳: تغییرات جامدات کل راکتور



شکل ۱: تغییرات اسیدیته راکتور

۴.۴. بررسی تغییرات در جامدات کل (TS)

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



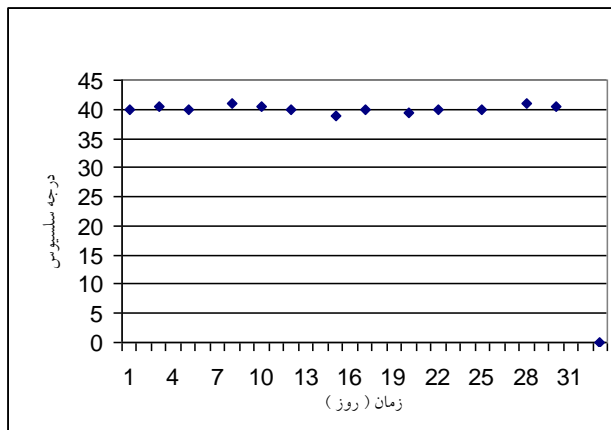
شکل ۴: تغییرات جامدات فرار راکتور

۴.۵. بررسی تغییرات COD راکتور

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

۴.۲. بررسی وضعیت درجه حرارت محتویات راکتور

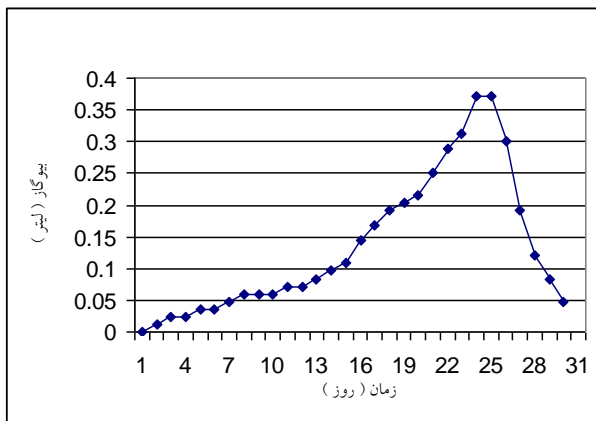
در این دوره مطالعات در محدوده دمایی مزوفیلیک انجام گرفت، لذا با استفاده از سیستم دو جداره راکتور و سیرکولاسیون آب گرم درجه حرارت محتویات در محدوده 40 ± 1 درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. چند ساعت پس از تغذیه با استفاده از سیرکولاسیون آبگرم، دمای محتویات راکتور به 40 ± 1 درجه سلسیوس رسید. درجه حرارت راکتور به صورت منظم اندازه گیری شده و نتایج به شرح زیر در شکل ۲ آورده شده است.



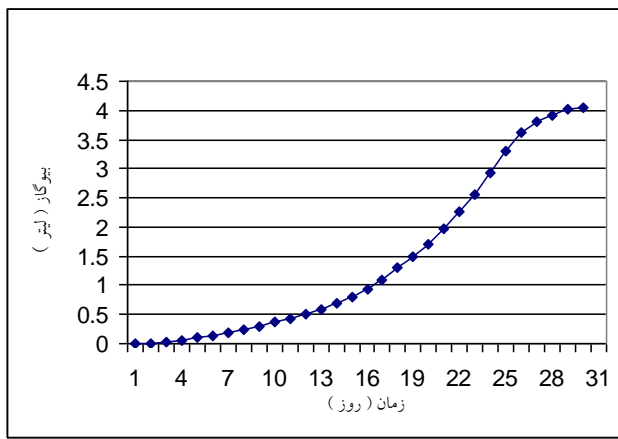
شکل ۲: درجه حرارت راکتور

۴.۳. بررسی تغییرات در جامدات کل (TS)

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

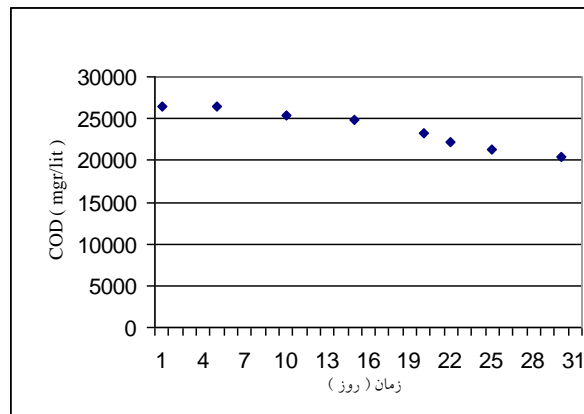
۵. نتیجه گیری

خلاصه نتایج حاصله در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲: چکیده 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

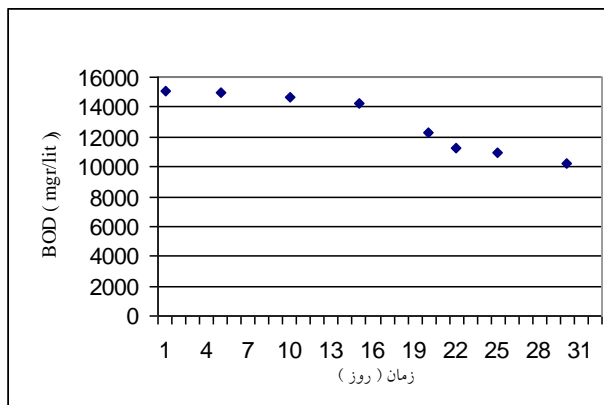
با توجه حجم بارگیری شده راکتور، که معادل ۴/۲ لیتر بوده است و چکیده آنالیزهای انجام شده (جدول ۲) میزان پارامترهای حذف شده در طول دوره را حساب کرده و سپس با توجه به میزان بیوگاز تولیدی در طول کل دوره (۴/۰۵۶ لیتر) مقدار بیوگاز تولیدی به ازاء هر کیلوگرم از پارامترهای حذف شده را حساب می کنیم، نتایج در جدول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



شکل ۵: تغییرات COD محتویات راکتور

۴.۶. بررسی تغییرات BOD راکتور

جهت بررسی میزان کاهش BOD محتویات راکتور در طول دوره مطالعاتی نمونه‌های مناسب از محتویات تهیه گردید و آنالیز BOD مطابق روش استاندارد متد صورت گرفت، بررسی نتایج آنالیز BOD نشان می‌دهد که در طول این دوره 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 دوره مطالعاتی حجم گاز تولیدی به صورت روزانه ثبت گردید، نتایج مربوطه در شکل ۷ 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 کیلوگرم 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 ماده خشک آلی و با استفاده از موتورهای بیوگازسوز مناسب می توان مقدار ۵۸۳ کیلووات ساعت برق به ازاء حذف هر تن ماده 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 - ۱۳۸۲، ۱۲۰۷.
- [۲] اکبر شعبانی کیا ، علی نظری، بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، صص ۱۹۶۹ - ۱۳۸۲، ۱۹۶۰.
- [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 F-98-ENV-173
- [۶] جلا الدین شایگان ، حسین مهدی زاده ، فریده قوی پنجه، اولین سمینار بیوگاز در ایران ۱۳۷۵ ، سازمان انرژی اتمی ایران صص ۴۶ - ۳۲
- [7] 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
- [8] 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