Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

تحلیل فنی و مالی سیستم های استحصال برق و حرارت از لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری

باقر قوامی[۱]، حمید راستگو[۲]، شیوا عسگری[۳]
تهران، شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو
آدرس پست الکترونیکی ghghavvamigh@yahoo.com

چکیده

در سال‌های اخیر در کشورهای توسعه یافته استحصال برق و حرارت در تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری رواج بسیاری دارد. این تکنولوژی علاوه براینکه با کاهش عوامل بیماری‌زا، بوزا و حجم لجن از نظر زیست محیطی ضروری است، موجب تولید مقادیر قابل توجهی انرژی به صورت برق و حرارت می‌گردد. با توجه به نتایج ارائه شده در این مقاله، نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری (IRR) این طرح‌ها حدود ۲۹ درصد و زمان بازگشت سرمایه آن حدود ۵ سال می‌باشد. با توجه به حساسیت قابل توجه نتایج اقتصادی به پارامتر درآمد حاصل از فروش برق به شبکه، افزایش اندکی در نرخ خرید برق تولیدی از بیوگاز هاضم‌ها می‌تواند این سرمایه‌گذاری را برای بسیاری از سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی جذاب‌تر نماید. همچنین با توجه به اهمیت زیست محیطی هضم بیهوازی لجن در تصفیه خانه فاضلاب شهری، این گونه طرح‌ها می تواند از نظر بهداشت و محیط زیست نیز مورد توجه قرار گیرد. به علاوه استفاده از این طرح‌ها می‌تواند مقدمه‌ای باشد تا تکنولوژی هضم بیهوازی به همراه نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از سایر خوراک‌های هاضم مانند زائدات کشاورزی، فضولات دامی، زباله‌های شهری و فاضلاب صنعتی در کشور توسعه یابد.

واژه‌های کلیدی : تصفیه فاضلاب، بیوگاز، هضم بیهوازی، تولید همزمان برق و حرارت، تحلیل مالی

۱- مقدمه

[۱] کارشناسی بهداشت محیط
[۲] کارشناسی ارشد مکانیک سیالات
[۳] کارشناسی مکانیک

www.Renewenergy.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

رشد شدید جمعیت در دهه‌های اخیر و به تبع آن افزایش گسترده فاضلاب شهری، معضلات زیست محیطی بسیاری را در جامعه منجر می‌شود. فاضلاب شهری به دلیل ایجاد آلودگی‌های محیط زیستی برای بازگشت به طبیعت باید تصفیه شود و یکی از روش‌های موثر در این زمینه استفاده از هاضم‌های بیهوازی و تخمیر مواد خطرناک آن می‌باشد. سالانه میلیون‌ها تن لجن در فرآیند تصفیه فاضلاب تولید می‌گردد که دارای پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی می‌باشد، در حالی که دفع و دفن این لجن‌ها از معضلات اساسی تصفیه خانه‌ها بوده و هزینه‌های گزافی در این زمینه صرف می‌گردد. با بهره‌گیری از فناوری‌های مناسب می‌توان ضمن حل معضل این پسماندهای آلی به تولید انرژی پاک اقدام نمود. بیوگاز حاصل از هضم بی‌هوازی دارای درصد قابل توجهی متان بوده و می‌تواند به عنوان ماده قابل احتراق در صنایع مختلف برای تولید برق و حرارت مورد استفاده قرار گیرد. بیوگاز تولیدی از لجن فاضلاب شهری از ۶۰ تا ۷۵ درصد متان و ۳۰ تا ۳۵ درصد گاز کربنیک تشکیل شده و همراه گازهای نام برده نزدیک به یک درصد گاز هیدروژن سولفید در بیوگاز خروجی وجود دارد که به جز آلوده‌سازی محیط زیست، خاصیت خورندگی شدیدی داشته و برای تجهیزات بعد از مخزن ذخیره بسیار مضر می باشد و باید تصفیه شود. لجن پس از گذراندن مراحل هضم دارای رنگ قهوه‌ای مایل به سیاه است و بویی شبیه به بوی خاک مرطوب می‌دهد و مقدار موجودات زنده در آن بسیار اندک است درنتیجه پس از طی مراحل آبگیری می‌تواند به راحتی و بدون هیچ خطری در طبیعت دفن شود و یا در پلنت‌های زباله‌سوز، سوزانده شده و از انرژی حاصل از آن در نیروگاه‌ها استفاده شود؛ بنابراین با اجرای فرآیند هضم بیهوازی می‌توان حجم لجن را کاهش داده، آن را تصفیه کرده و همچنین از بیوگاز حاصل از آن برای تولید انرژی استفاده نمود. با در نظر گرفتن سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP) برای مصرف بیوگاز حاصل، می توان انرژی الکتریسیته و حرارتی تولید کرده و در صنعت مورد نیاز بهره برداری نمود. تولید بیوگاز رایج‌ترین روش استحصال انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی در دنیا است. هضم پسماندهای مختلف میزان انرژی متفاوتی تولید می‌کند. میزان انرژی برق تولیدی از بیوگاز حاوی ۵۵٪ متان در سیستم CHP با بازده ۳۵٪ برای کود حیوانی ۱۲۲/۵، کاه و کلش برنج ۵۴۶/۷، پسماند میوه و سبزی ۱۵۱/۶، آب پنیر ۶۸/۹، پسماند شهری ۲۰۷/۲ و لجن فاضلاب ۹۶ kWh/t FM می باشد[۱].

۱-۱- تاریخچه

در زمینه استحصال انرژی از بیوگاز کارهای بسیاری در سطح ملی و جهانی انجام شده است. مصطفی داودی‌نژاد و همکاران [۱] در سال ۱۳۹۴ طی مقاله‌ای با عنوان برآورد پتانسیل تولید بیوگاز و برق از فاضلاب شهری در کشور، با انجام محاسبات مربوطه میزان لجن فاضلاب تولیدی، بیوگاز حاصل از آن و حداکثر توان تولید برق در کشور را محاسبه نموده و نتایج آن را منتشر کرده‌اند. بر طبق این آمار، میزان لجن فاضلاب تولیدی در کشور ۲۱۹۴۳۷ /۰۳ ton/yr (۳۰۷/۲۱ Mm^3/yr)، میزان بیوگاز تولیدی ۳۳۷۵۹۵/۴۳ ton/yr (۴۷۲/۶۳ Mm^3/yr) و حداکثر توان تولید برق ۱۷۴/۵۲ MW برآورد شده است. حسین صادقی و همکاران[۲] در سال ۱۳۹۳ در مقاله خود با عنوان تحلیل هزینه- فایده تولید پراکنده برق از بیوگاز در گاوداری های صنعتی ایران، به ارزیابی اقتصادی تولید پراکنده برق، هم از دیدگاه بخش خصوصی و هم اجتماعی پرداخته اند. مریم بخشی و همکاران [۳] در سال ۱۳۸۸ در مقاله خود با عنوان ارزیابی پتانسیل استحصال انرژی از فاضلاب شهری و ارائه مدل آن، با روش‌های مبتنی بر آمار جمعیتی و ضرایب و مفروضات دستور العمل IPCC و اصلاح آنها برای شرایط ایران، پتانسیل تولید بیوگاز از فاضلاب شهری در کشور را برآورد و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اطلس انرژی فاضلاب کشور به تفکیک استان‌ها را تهیه کردند. بر اساس این آمار بیشترین پتانسیل استحصال انرژی به ترتیب در استان‌های اصفهان، آذربایجان شرقی، تهران، خراسان رضوی و کرمانشاه وجود دارد. ابوالقاسم علی قارداشی و مهرداد عدل[۴] طی مقاله‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

ابتدا مروری سریع بر تولید بیوگاز از فضولات حیوانی و فاضلاب های شهری و صنعتی در ایران دارد و سپس به بررسی واحدهای بیوگاز روستایی و رآکتورهای بیهوازی پرداخته می‌شود. در هر بخش انواع رآکتورهای ساخته شده در ایران مورد بررسی کلی قرار گرفته و به ذکر مهارت‌ها، تجهیزات و وسایل مورد نیاز برای ساخت هر واحد اشاره می‌شود. طبق تحقیقات صورت گرفته در این مقاله اهم علل عدم گسترش فناوری هاضم‌های بیهوازی عبارتند از : ارزان بودن انرژی و پیچیده بودن این پدید در ایران، نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور، نبودن روحیه مشارکت در مردم، عدم آشنایی و آموزش کافی در این زمینه. لیولین [۵] طی مقاله‌ای با عنوان افزایش مقدار لجن و تولید بیوگاز برای مقابله با پدیده گرمایش زمین به بررسی تاثیر بازیافت کربن و استفاده از روش تصفیه ازن پرداخته است. ژنگ هنجی در سال ۲۰۱۰ در مقاله خود با عنوان تصفیه لجن برای افزایش تولید بیوگاز به بررسی انواع روش‌های هضم بیهوازی و معایب و مزیت هر یک پرداخته است. اختلاف تولید انرژی و هزینه‌های لازم برای هر روش نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- بیوگاز در ایران

کشور ایران همواره از پتانسیل خوبی در جهت تولید بیوگاز بهره مند بوده است. در سال ۱۳۶۱ یک واحد ۳ مترمکعبی در دانشگاه صنعتی شریف مورد مطالعه قرار گرفت. درسال‌های ۶۵-۱۳۶۱ مرکز تحقیقات انرژی‌های نو در سازمان انرژی اتمی ، پژوهش‌های ویژه‌ای را در این زمینه به انجام رساند که از آن جمله می‌توان به احداث ۱۰ واحد بیوگاز در استان‌های سیستان و بلوچستان، ایلام و کردستان اشاره کرد. در دهه ۱۳۶۰ وزارت جهاد سازندگی نیز در این راه اقداماتی صورت داد، ابتدا در سال ۱۳۶۳ یک واحد آزمایشی در حیدرآباد کرج ساخته شد، سپس در سال ۱۳۶۴ یک نمونهٔ واقعی در روستای چین سیب لی از توابع بخش آق قلا در منطقهٔ گرگان احداث گردید. این وزارتخانه ۴۰ هاضم دیگر در مناطق مختلف کشور ساخت که ۱۸ واحد آن به مرحله گازدهی رسید. همچنین مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی در این زمینه گام‌هایی برداشته‌اند. از جـمله می‌توان به واحد احداث شده توسط جهاد دانشگاهی دانشکده کشاورزی کرج در سالهای ۶۵-۶۳ و واحد احداث شده توسط مهندس خلیل شیخ قاسمی(کارشناس شرکت آب و فاضلاب) در شاهین دژ آذربایجان در سال ۱۳۷۲ اشاره کرد. متأخرترین واحدهای ساخته شده، یک واحد بیوگاز برای هضم فاضلاب انسانی در جزیره کیش و یک واحد تخمیر فضولات دامی (گاوداری) در ماهدشت کرج بوده که هر دو توسط سازمان انرژی اتمی در سالهای ۷۸-۱۳۷۷ طراحی و ساخته شده اند [۶،۷،۸،۹]. در مورد هاضم‌های لجن و رآکتورهای تصفیه بی‌هوازی فاضلاب در ایران، باید گفت که متأسفانه هم اکنون از بیوگاز هاضم‌های لجن در هیچ یک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری استفاده نمی‌گردد و رآکتورهای بی‌هوازی کمتر از ۱۰واحد بوده می‌باشند. بیوگاز را می‌توان از تخمیر پنج نوع زیست توده به دست آورد؛ فضولات دامی، ضایعات کشاورزی، فاضلاب‌های شهری، فاضلاب‌های صنعتی و زباله-های شهری، که در این مقاله نوع فاضلاب شهری مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر شهرهای بالای ۱۰۰هزارنفر را ملاک قرار دهیم و با استفاده از فرایند بی‌هوازی فاضلاب را تصفیه نماییم، بیوگاز حاصل از تصفیه بی‌هوازی حدود ۲۴۵~۱۰۷/۸ میلیون مترمکعب خواهد بود، در حالی که اگر فرایند هوادهی را به کار ببریم، این مقادیر کمتر خواهند شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصله از هاضم‌های لجن حدود ۱۰۷/۸~۲۰/۹ میلیون مترمکعب خواهد بود. [۱۰]

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

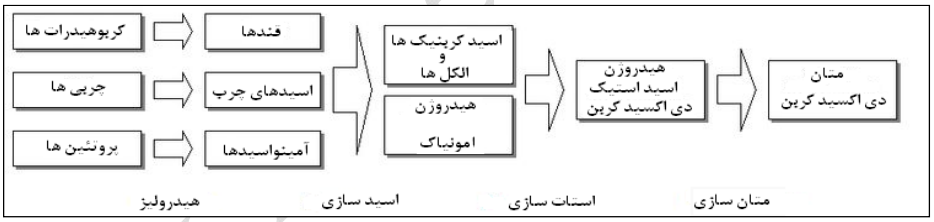
۲- فرآیند تولید بیوگاز در تصفیه‌خانه

۲-۱- واکنش‌های تولید بیوگاز

واکنش‌های هضم بی هوازی مشتمل بر یک سری فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی است که در غیاب اکسیژن و در حضور ارگانیسم‌های بیهوازی، مواد آلی فسادپذیر تجزیه شده و در نهایت گازی تولید می‌شود که بخش عمده‌ای از آن مخلوطی از گازهای متان و دی اکسید کربن (بیوگاز) است. هضم بی‌هوازی، علاوه بر بیوگاز، باقیمانده‌ای نیز به جا می‌گذارد که شامل مواد غیرآلی، مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی، مواد تجزیه پذیر تجزیه نشده و جرم میکروبی می‌باشد. اگر این مواد، به طور مؤثر، از مواد مشکل ساز مثل پلاستیک‌های کلردار پاک شود، می‌توان محصول را به عنوان کمپوست در بازار به فروش رساند و ممکن است این ماده را برای پوشش دفنگاه‌ها نیز استفاده کرد. مواد داخل‌هاضم بی هوازی ممکن است شامل موادی با غلظت‌های متفاوت (از دوغاب تا خمیر جامد) باشد. مواد را پس از خارج شدن از راکتور می‌توان در یک تجهیزات تراکم، آب زدایی نموده و مایع فیلتر شده را جهت تهیه خوراک دوغابی دوباره به هاضم بازگرداند. مواد خارج شده از زیر پرس نیز به شکل کیک پرس یا کیک در می‌آیند. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است کل فرایند را می توان به چهار مرحله تقسیم کرد:

- هیدرولیز که در آن مولکول های پیچیده شکسته شده و به مولکول های ساده تر تبدیل می شوند.
- فاز اسیدوژنیک یا اسید ساز که در این مرحله اسیدهای آلی تولید می شوند.
- فاز استوژنیک یا استات ساز که فاز تولید استات ها است.
- فاز متانوژنیک یا متان ساز که در این مرحله استات و هیدروژن به متان تبدیل می شوند.

فرایند هضم فقط در صورت گذراندن همه این مراحل تکمیل خواهد شد. در هرکدام از این مراحل میکروارگانیزمهای خاص آن مرحله با شرایط فیزیولوژیکی منحصر به فرد مسئول انجام واکنش ها هستند[۱۱].



شکل(۱): مراحل هضم بی هوازی

۲-۱- ۱- هیدرولیز

در مرحله اول از فرایند هضم بی هوازی مواد آلی با ساختار پیچیده شکسته شده، طی فرایندی به نام هیدرولیز به موادی با ساختار ساده‌تر تبدیل می‌شوند. پروتئین‌ها به آمینو اسیدها، چربی‌ها به اسیدهای چرب، گلیسرول و تری گلیسیریدها تبدیل شده و کربوهیدرات‌های پیچیده مانند پلی ساکاریدها، سلولز، لیگنین، نشاسته به قندهای ساده مانند گلوکز تبدیل می‌شوند. فرمول شیمیایی $C_6H_{10}O_4$ تخمینی برای نشان دادن پسماندهای آلی است. معادله (۱) نشان دهنده تبدیل پسماندهای آلی به قند، در این مورد گلوکز، می‌باشد[۱۱و۱۲].

$$C6H_{10}O_4 + 2H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \qquad \text{معادله (۱)}$$

۲-۱-۲- فاز اسید سازی

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

بلافاصله بعد از مرحله هیدرولیز مرحله اسیدسازی آغاز می شود. در این فرایند، باکتری های اسیدساز محصولات فاز هیدرولیز را به ترکیبات آلی ساده، اغلب اسیدهای فرار با زنجیره کوتاه (مانند اسید لاکتیک، اسید پروپیونیک، اسید استیک و اسید بوتیریک)، کتون ها (مانند اتانول، متانول، گلیسرول، استون) و الکل ها تبدیل می‌کند. معادله ۲ و ۳ واکنش عمومی مرحله اسیدسازی را نشان می دهد. در معادله (۲) گلوکز به اتانول و در معادله (۳) گلوکز به پروپیونات تبدیل شده است[۱۱و۱۳].

$C_6H_{12}O_6 \leftrightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2CO_2$ معادله (۲)

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \leftrightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$ معادله (۳)

۲-۱-۳- فاز استات سازی

مرحله بعدی فاز استات سازی است که در اغلب موارد جزئی از مرحله اسیدسازی درنظر گرفته می شود. در این مرحله اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و اکسیژن خواهی شیمیایی کاهش می‌یابند. فاز استات سازی از طریق تخمیر کربوهیدرات ها اتفاق می افتد و محصول اصلی این مرحله استات است. در انتهای این مرحله ترکیبی از استات، هیدروژن و دی اکسیدکربن را خواهیم داشت. در شرایط استاندارد حضور هیدروژن از حل شدن اکسیژن جلوگیری می‌کند. اسیدهای چرب با زنجیره بلند حاصل از هیدرولیز چربی‌ها به استات یا پروپیونات اکسید شده و گاز هیدروژن تولید می شود. در زیر واکنش‌های مهم این مرحله تبدیل پروپیونات، گلوکز، اتانول و بی‌کربنات به استات است[۱۱و۱۳].

$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \leftrightarrow CH_3COO^- + H^+ + HCO_3^- + 3H_2$ معادله (۴)

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \leftrightarrow 2CH_3COOH + 2\ CO_2 + 4H_2$ معادله (۵)

$CH_3CH_2OH + 2H_2O \leftrightarrow CH_3COO^- + 2H_2 + H^+$ معادله (۶)

$2HCO_3^- + 4H_2 + H^+ \leftrightarrow CH_3COO^- + 4H_2O$ معادله (۷)

تبدیل مواد آلی به اسیدهای آلی در مراحل شکل‌گیری اسید باعث افت pH در سیستم می‌شود. این موضوع به نفع باکتری‌های اسید ساز و استات ساز می‌باشد که در شرایط نسبتا اسیدی با pH بین ۵/۵- ۴/۵ بهتر رشد می کنند. اما این مسئله برای باکتری‌های متان ساز مشکل ساز است[۱۳].

۲-۱-۴- فاز متان سازی

در این فاز باکتری های متان ساز مواد محلول را به متان تبدیل می کنند. دو سوم محصول متان حاصل تبدیل استات (معادله ۸ و ۹) و یا تبدیل یک الکل مانند متیل الکل (معادله ۱۰) و یک سوم دیگر محصول نتیجه احیای دی اکسید کربن به هیدروژن (معادله ۱۱) است.

$2CH_3CH_3OH + CO_2 \leftrightarrow 2CH_3COOH + CH_4$ معادله (۸)

$CH_3COOH \leftrightarrow CH_4 + CO_2$ معادله (۹)

$CH_3OH + H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$ معادله (۱۰)

$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$ معادله (۹)

باکتری های متان ساز نسبت به تغییرات شرایط محیطی بسیار حساس هستند و در محیط خنثی یا تا حدی قلیایی بهتر رشد می کنند. در pH زیر ۶، باکتری های متان زا زنده نمی مانند. فاز متان زا قسمت کنترل کننده کل واکنش هضم است زیرا سرعت واکنش های متان ساز خیلی کندتر از باکتری‌های اسیدساز است. بنابراین سینتیک کل فرایند هضم می تواند توسط سینتیک باکتری متانوژنیک تشریح شود.

$CH_3COO^- + SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow 2HCO_3^- + H_2S$ معادله (۱۲)

www.SID.ir

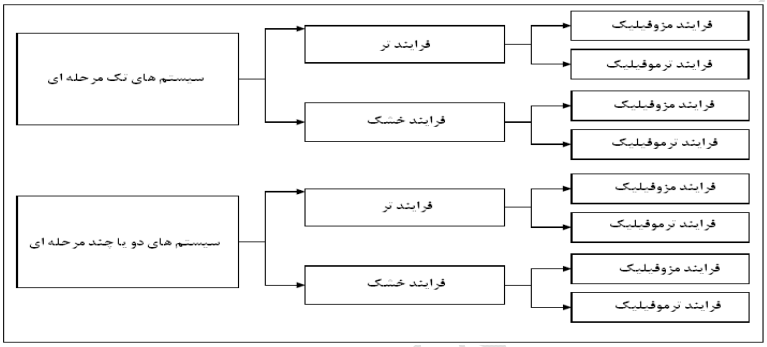
Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

$$CH_3COO^- + NO_3^- + H_2O + H^+ \longrightarrow 2HCO_3^- + NH_4^+$$ معادله (۱۳)

۲-۲- تقسیم بندی انواع هاضم بی هوازی جهت هضم مواد زائد جامد

هاضم های بی هوازی از دیدگاه های مختلف قابل بررسی و تقسیم بندی می باشند. به طور مثال می توان این هاضم ها را از لحاظ نوع خوراک دهی، تعداد راکتورها، زمان ماند، نوع اختلاط، بازچرخانی شیرابه و... تقسیم بندی کرد. در این طرح سعی می شود با استفاده از برخی از این فاکتورها، تقسیم بندی جامعی از هاضم های بی هوازی ارائه شود. ابتدا هاضم ها بر اساس نوع خوراک دهی به دو دسته راکتورهای پیوسته و ناپیوسته تقسیم می‌شوند. هاضم‌های پیوسته بر اساس تعداد راکتورها به دو نوع تک مرحله ای و دو یا چند مرحله ای تقسیم می شوند.



شکل (۲): تقسیم بندی هاضم های بی هوازی با جریان ناپیوسته

هر کدام از این راکتورها بر اساس درصد مواد جامد در خوراک ورودی به دو دسته هاضم با غلظت بالای مواد جامد (خشک) و هاضم با غلظت پایین مواد جامد (تر) تقسیم می شوند. بنابراین تقسیم بندی، در هاضم های حاوی مقدار جامدات پایین (LS) یا تر، غلظت کل جامدات (TS) کمتر از ۱۵ درصد می باشند و در هاضم های حاوی مقدار جامدات بالا (HS) یا خشک، غلظت TS در محدوده ۴۰-۱۵ درصد می باشد. راکتورهای ناپیوسته را می توان بر اساس تعداد و ترکیب راکتورها، به سه نوع راکتور ناپیوسته تک مرحله‌ای، راکتورهای ناپیوسته متوالی و راکتورهای ناپیوسته هیبریدی تقسیم کرد[۱۱و۱۲و۱۳].
در شکل (۲) تقسیم بندی کلی هاضم های بی هوازی باجریان پیوسته و در شکل (۳) تقسیم بندی هاضم های بی هوازی با جریان ناپیوسته نشان داده شده است.

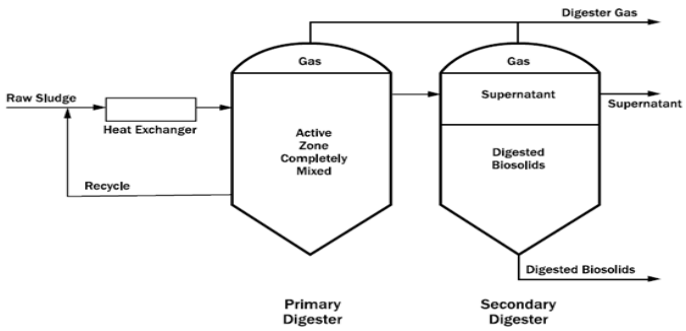
۲-۳- نوع سیستم‌های بی‌هوازی (لجن فاضلاب) در ایران

در ایران در چندین تصفیه‌خانه فاضلاب، در فاز جامد تصفیه‌خانه، هاضم‌های بی‌هوازی احداث شده است. اولین شهرهایی که همزمان با احداث فاز مایع تصفیه‌خانه فاضلاب، در بخش فاز جامدتصفیه‌خانه سیستم هاضم بی‌هوازی احداث نموده‌اند شهرهای اصفهان، بندرعباس، شیراز، سنندج، کرمانشاه و تبریز می‌باشند که در حال حاضر در این تصفیه‌خانه‌ها سیستم‌های هضم بی‌هوازی در حال بهره‌برداری است. نوع سیستم هضم بی‌هوازی مورد استفاده در این تصفیه‌خانه‌ها از نوع سیستم دومرحله‌ای، تک فازی مزوفیلیک می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در تمامی این تصفیه‌خانه‌ها هدف اصلی از احداث سیستم‌های هضم بی‌هوازی، انجام فرآیند تثبیت لجن بوده است و موضوع استحصال انرژی از بیوگاز تولیدی اصلا مدنظر نبوده است. زیرا تنها واحدهای فلر باز جهت سوزاندن بیوگاز درنظرگرفته در شکل (۴) نمای کلی این سیستم نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir



شکل (۴): نمای کلی سیستم هاضم دومرحله‌ای، تک فازی مزوفیلیک

در سال‌های اخیر با مطرح شدن مقوله بهینه‌سازی مصرف انرژی و همچنین بهره‌گیری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، در نتیجه در طرح‌های تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای بزرگ موضوع احداث هاضم‌های بی‌هوازی جهت تثبیت بهتر لجن و همچنین بهره‌گیری از انرژی بیوگاز تولیدی در واحدهای تولید همزمان برق و حرارت (CHP) مطرح شده است. به طوری که در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران نیروگاه بیوگاز با توان حدود ۵ مگاوات در حال بهره‌برداری است. سایر تصفیه‌خانه‌ها از جمله شهر قم، همدان و پرند نیز که در حال احداث می‌باشند دارای واحدهای هضم بی‌هوازی در طراحی هستند که در فازهای بعدی احداث می‌شوند.

۳- استحصال انرژی (برق و حرارت) از بیوگاز

۳-۱- انواع سیستم‌های تولید انرژی از بیوگاز

پرکاربردترین سیستم‌های مورد استفاده برای تولید انرژی از بیوگاز شامل توربین گازی، میکروتوربین، پیل سوختی و موتورهای بیوگازسوز است. با درنظرگرفتن معیارهای فنی (سهولت بهره‌برداری، نیاز به تخصص‌های بالا، راندمان تولید انرژی)، مالی (هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری) و زیست محیطی (مقادیر انتشار)، سیستم موتورهای بیوگازسوز، متداول‌ترین سیستم مورد استفاده برای تولید انرژی (برق و حرارت) از بیوگاز می‌باشند.

۳-۲- تصفیه بیوگاز

ترکیب متداول بیوگاز حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد متان، ۳۰ تا ۳۵ درصد دی‌اکسید کربن و باقیمانده سایر گازها از جمله سولفید هیدروژن (H_2S)، آمونیاک، ترکیبات آروماتیک، سیلوگزان و غیره می‌باشد. به منظور عملکرد بهینه سامانه‌های تولید همزمان برق و حرارت که از بیوگاز استفاده می‌کنند، پیش‌تصفیه بیوگاز است. بیشترین و قابل‌توجه‌ترین ناخالصی‌های موجود در بیوگاز خروجی از هاضم‌های بی‌هوازی، سولفید هیدروژن (H_2S) و ترکیبات سیلوگزان می‌باشد. همچنین دفع رطوبت از بیوگاز نیز در مراحل تصفیه می‌بایست مدنظر قرار داده شود. بر همین اساس قبل از ورود بیوگاز به بخش نیروگاه، واحد تصفیه بیوگاز جهت اندازه‌گیری کمیت و کیفیت بیوگاز ورودی، تنظیم پارامترهای دما و فشار بیوگاز و تصفیه ناخالصی‌های بیوگاز، احداث می‌شود.

۴- کاربردهای بیوگاز

انرژی قابل استحصال بیوگاز به روش های مختلفی قابل استفاده می باشد. یکی از روش استفاده از حرارت بیوگاز به منظور تامین حرارت مورد نیاز هاضم ها می باشد. همان طور که قبلا اشاره شد، هاضم ها با توجه به نوع فرایندشان که می تواند مزوفیلیک یا ترموفیلیک باشند، بایستی در دمای ثابتی بین ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتیگراد حفظ شود. با توجه به اینکه دمای

www.SID.ir

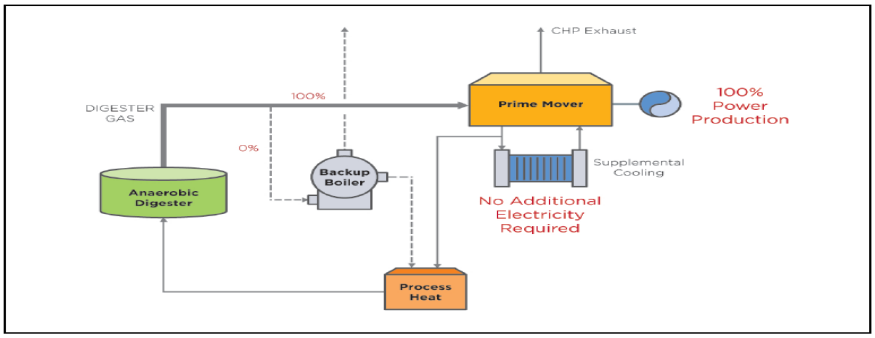
Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

محیط معمولا از این مقادیر کمتر می باشد، بایستی همواره مقداری سوخت به منظور افزایش دمای لجن تا دمای هاضم و حفظ دمای هاضم استفاده شود. یکی از کاربردهای بیوگاز تامین این حرارت با استفاده از ارزش حرارتی آن می باشد. در این روشها بیوگازدر بویلر مصرف می شود و حرارت مورد نیاز توسط مبدلهای حرارتی به لجن منتقل می شود. اما با توجه به اینکه انرژی حرارتی بیوگاز تولیدی معمولا به طور قابل توجهی بیشتر از حرارت مورد نیاز هاضم های می باشد، این روش در پلنتهای بزرگ ایده آل نمی باشد. در حال حاضر بهینه ترین روش استفاده از بیوگاز تولید استحصال توامان برق و حرارت می باشد. به این منظور بایستی از نیروگاه های CHP استفاده شود. در این نیروگاه های بیوگاز تولیدی در یک مولد تولید برق مصرف می شود و با توجه به اینکه تولید برق در این مولدها با تولید حرارت قابل بازیافت همراه می باشد، از آن به منظور تامین حرارت مورد نیاز هاضم ها استفاده می شود. در حال حاضر تکنولوژی های مولد متعددی قابل استفاده می باشد. اما دو نوع مولد موتور و توربین بیشتر از سایر انواع مولد ها مورد توجه می باشد. با توجه به ظرفیت تصفیه خانه های موجود در ایران و با توجه میزان سرمایه گذاری اولیه و سطح تکنولوژی مورد نیاز، بهینه ترین سیستم مولد موتور می باشد.

۴-۱- مصارف حرارت

در سیستم های CHP سوخت مصرفی در موتور باعث چرخش ژنراتور و تولید برق می شود. به این ترتیب بخش قابل توجهی از ارزش حرارتی سوخت (حدود ۴۰ ٪) منجر به تولید برق می شود. به علاوه حرارت قابل بازیافت موتور که از دود و بدنه موتور قابل تامین می باشد به منظور تامین نیاز حرارتی هاضم ها می شود. با توجه به اینکه عموما نیاز حرارتی هاضم ها حدودا نصف حرارت قابل بازیافت موتورها می باشد، بقیه حرارت قابل بازیافت به منظور تامین گرمایش یا سرمایش ساختمانهای اطراف قابل استفاده می باشد. شکل ۶ دیاگرام کلی استحصال برق و حرارت را در تصفیه خانه های فاضلاب با فرایند بی هوازی را نمایش داده است :



شکل (۶) : دیاگرام کلی استحصال برق و حرارت را در تصفیه خانه های فاضلاب با فرایند بی هوازی

۴-۲- مصارف برق تولیدی:

برق تولیدی در مولدهای می تواند به یکی از مصارف زیر برسد:

۱- فروش برق به شبکه تحت قرارداد خرید تضمینی برق از منابع انرژی های تجدید پذیر (PPA). در حال حاضر (۱۳۹۵) نرخ خرید هر کیلو وات ساعت برق تولیدی از هاضم ها ۳۷۰۰ ریال می باشد.

۲- مصرف برق توسط تصفیه خانه: با توجه به اینکه تصفیه خانه ها عموما بزرگترین مصرف کننده برق در مجموعه-های شهری می باشد، مصرف برق تولیدی توسط تصفیه خانه علاوه بر اینکه فشار وارده به شبکه برق در شهر را

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

کاهش می دهد، باعث کاهش هزینه های مصرفی انرژی تصفیه خانه نیز می شود. جدول زیر مشخصات حدودی موتورهای مورد استفاده در پلنتهای تصفیه خانه ای را نمایش داده است :

جدول ۳ - مشخصات حدودی موتورهای مورد استفاده در پلنتهای تصفیه خانه ای(۱۴)

Performance Characteristics[1,2]	Learn Burn Engine	Advanced Generation
Size (kW)	110 - 2700	400 - 3370
Electrical Efficiency (%)	30 - 38	37 - 42
Thermal Efficiency (%)	41 - 49	35 - 43
Equipment Cost ($/kW)	465 - 1600	465 - 1200
Maintenance Cost ($/kWh)	0.01 – 0.025	0.01 – 0.025
Availability (%)	90 - 96	90 - 96
Overhaul Frequency (hours)	28000 - 90000	30000 - 90000
NO_X Emissions (lb/million Btu)	0.015 – 0.87	0.017 – 0.44
CO Emissions (lb/million Btu)	0.163 – 2.16	0.34 – 0.92
1. Performance at full continuous duty rated load 2. Performance characteristics provided by Caterpillar, Jenbacher, MAN, MWM, and Waukesha		

۵-تحلیل مالی

۵-۱- هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری

میزان تولید بیوگاز و برق در تصفیه خانه های دارای هاضم در جدول ۴ نشان داده شده است :

جدول (۴) : پتانسیل کنونی تولید انرژی از بیوگاز فاضلاب شهری در کشور[۱]

تصفیه‌خانه	ظرفیت اسمی Km^3/yr	BOD ورودی ton BOD/yr	متان قابل استحصال ton CH_4/yr	ارزش حرارتی متان تولیدی GJ/yr	تولید برق MWh/yr	توان تولید برق MW
جنوب تهران	۴۰۹۹۶۸	۷۱۷۴۴/۴	۱۴۳۴۸/۸۸	۷۱۹۷۸۲/۸۷	۹۹۹۶۹/۸۴	۱۱/۴۱
شمال اصفهان	۹۱۲۵۰	۱۵۹۶۸/۷۵	۳۱۹۳/۷۵	۱۶۰۲۰۸/۰۸	۲۲۲۵۱/۱۲	۲/۵۴
شاهین شهر	۲۴۸۲۰	۴۳۴۳/۵	۸۶۸/۷	۴۳۵۷۶/۶	۶۰۵۲/۳۱	۰/۶۹
تبریز	۴۷۳۰۴	۸۲۷۸/۲	۱۶۵۵/۶۴	۸۳۰۵۱/۸۷	۱۱۵۳۴/۹۸	۱/۳۲
غرب اهواز	۱۸۹۸۹	۳۳۲۳/۰۸	۶۶۴/۶۲	۳۳۳۳۹/۰۸	۴۶۳۰/۴۳	۰/۵۳
کرمانشاه	۸۱۹۰۰	۱۴۳۳۳/۵	۲۸۶۶/۵	۱۴۳۷۹۲/۲۴	۱۹۹۷۱/۱۴	۲/۲۸
بندر عباس	۴۲۸۸۹	۷۵۰۵/۵۸	۱۵۰۱/۱۲	۷۵۳۰۰/۴۳	۱۰۴۵۸/۳۹	۱/۱۹
شیراز	۲۹۶۰۰	۵۱۸۰	۱۰۳۶	۵۱۹۶۸/۸۷	۷۲۱۷/۹	۰/۸۲
جمع کل	۷۹۹۶۴۵	۱۳۹۹۳۷/۸۸	۲۷۹۸۷/۵۸	۱۴۰۳۹۴/۷۳	۱۹۴۹۹/۷۷	۲۲/۲۶

هزینه های سرمایه گذاری طبق آخرین استعلامات صورت گرفته حدود ۶۰۰۰۰ میلیون ریال برای هر کیلووات ساعت می باشد. هزینه بهره برداری نیز به ازای هر کیلووات ساعت تولید ۴۵۰ ریال در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه برق تولیدی ۳۵۰۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت خریداری می شود، میزان درآمد نیز مشخص می باشد. در نتیجه مولفه های مالی سرمایه گذاری به صورت جدول (۵) خواهد بود.

جدول (۵) : مولفه های مالی سرمایه گذاری

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

تصفیه خانه	ظرفیت MW	سرمایه گذاری اولیه (میلیون ریال)	میزان تولید سالیانه (MWh)	هزینه های بهره برداری سالیانه (میلیون ریال)	درآمد (میلیون ریال)
جنوب تهران	۱۱/۴۱	۶۸۴/۶	۷۹۹۶۱/۲۸	۳۵۹۸۲/۵۸	۲۹۵۸۵۶/۷
شمال اصفهان	۲/۵۴	۱۵۲/۴	۱۷۸۰۰/۳۲	۸۰۱۰/۱۴۴	۶۵۸۶۱/۱۸
شاهین شهر	۰/۶۹	۴۱/۴	۴۸۳۵/۵۲	۲۱۷۵/۹۸۴	۱۷۸۹۱/۴۲
تبریز	۱/۳۲	۷۹/۲	۹۲۵۰/۵۶	۴۱۶۲/۷۵۲	۳۴۲۲۷/۰۷
غرب اهواز	۰/۵۳	۳۱/۸	۳۷۱۴/۲۴	۱۶۷۱/۴۰۸	۱۳۷۴۲/۶۹
کرمانشاه	۲/۲۸	۱۳۶/۸	۱۵۹۷۸/۲۴	۷۱۹۰/۲۰۸	۵۹۱۱۹/۴۹
بندرعباس	۱/۱۹	۷۱/۴	۸۳۳۹/۵۲	۳۷۵۲/۷۸۴	۳۰۸۵۶/۲۲
شیراز	۰/۸۲	۴۹/۲	۵۷۴۶/۵۶	۲۵۸۵/۹۵۲	۲۱۲۶۲/۲۷
مجموع	۲۰/۷۸	۱۲۴۶/۸	۱۴۵۶۲۶/۲	۶۵۵۳۱/۸۱	۵۳۸۸۱۷/۱

۵-۲- بررسی شاخص های مالی

محاسبات اقتصادی این طرح ها نشان می دهد که نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری خصوصی حدود ۲۹ درصد و بازگشت سرمایه آن حدود ۵ سال می باشد. لازم به ذکر است که در محاسبات صورت گرفته در نرم افزار کامفار کلیه عوامل تاثیر گذار مانند مالیات، استهلاک و ... نیز در نظر گرفته شده است.

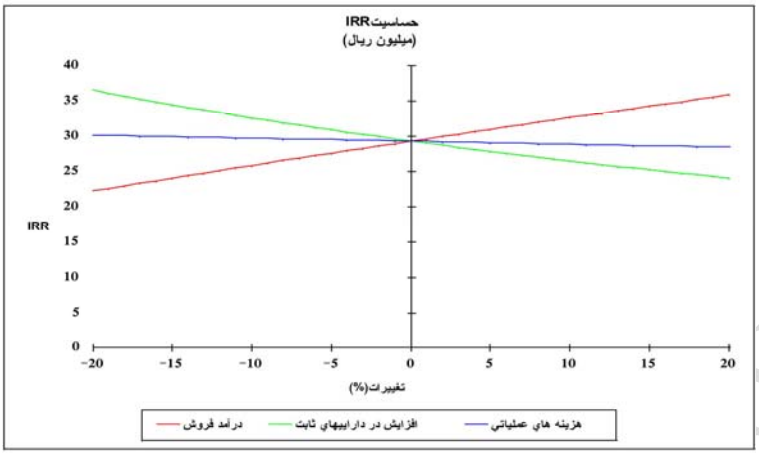
۵-۳- تحلیل سودآوری مالی طرح

در این بخش به بررسی تحلیلی سودآوری مالی طرح در خصوص عوامل کمی موثر پرداخته شده است. متغیرهای کلیدی که در تحلیل حساسیت در این بخش مورد توجه قرار گرفته‌اند، تغییر هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و تغییر در درآمد طرح می باشند. این تحلیل حساسیت برای در نظر گرفتن ریسک و بی‌اطمینانی نسبت به برآوردهای اشاره شده و همچنین بررسی عوامل کمی موثر در سودآوری و در نهایت نرخ بازگشت سرمایه مورد بررسی قرارگرفته شده است. این تحلیل از این نظر حیاتی می‌باشد که با توجه به جدید بودن نوع پروژه ممکن است در تطبیق شرایط محلی با تجربه‌های جهانی انحراف‌هایی وجود داشته باشد. همچنین با توجه به وابسته بودن میزان برق تولیدی به پارامترهای مختلف اهمیت این بررسی را دوچندان می‌گردد. برای بررسی میزان تاثیر پارامترهای اشاره شده بر وضعیت طرح، میزان تأثیر کاهش یا افزایش این پارامترها در سطح ٪۲۰± بر روی نرخ بازده طرح (IRR) در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۷) چگونگی تاثیر هریک از آیتم‌های سه‌گانه بر روی نرخ بازده داخلی طرح ارائه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir



شکل (۷): میزان حساسیت نرخ بازده داخلی طرح نسبت به تغییر پارامترهای کلیدی در سطح ۲۰٪

با توجه به جدول تحلیل حساسیت استخراج شده مشخص گردیده است که هزینه های تولید تاثیر چندانی بر روی این طرح نداشته و بالعکس سرمایه‌گذاری ثابت و درآمد فروش با توجه به تغییرات تاثیر مستقیم بر روی نرخ بازگشت سرمایه خواهد داشت. در شکل (زیر)، جدول تحلیل حساسیت طرح نشان داده شده است.

جدول (۶) : تحلیل حساسیت طرح بر روی نرخ بازگشت داخلی طرح

هزینه‌های عملیاتی	افزایش در دارایی‌های ثابت	درآمد فروش	تغییرات (٪)
٪۳۰/۱۷	٪۳۶/۵۸	٪۲۲/۲۳	٪-۲۰
٪۳۰	٪۳۴/۹	٪۲۳/۷	٪-۱۶
٪۲۹/۸۳	٪۳۳/۳۵	٪۲۵/۱۴	٪-۱۲
٪۲۹/۶۶	٪۳۱/۹۲	٪۲۶/۵۶	٪-۸
٪۲۹/۴۹	٪۳۰/۵۷	٪۲۷/۹۵	٪-۴
٪۲۹/۳۲	٪۲۹/۳۲	٪۲۹/۳۲	٪۰
٪۲۹/۱۵	٪۲۸/۱۴	٪۳۰/۶۷	٪۴
٪۲۸/۹۷	٪۲۷/۰۳	٪۳۲	٪۸
٪۲۸/۸	٪۲۵/۹۹	٪۳۳/۳۱	٪۱۲
٪۲۸/۶۳	٪۲۵	٪۳۴/۶۱	٪۱۶
٪۲۸/۴۶	٪۲۴/۰۷	٪۳۵/۸۹	٪۲۰

به‌طور مثال در صورت افزایش درآمد فروش تا ۲۰ درصد، نرخ بازده داخلی از ٪۲۹/۳۲ به ٪۳۵/۸۹ افزایش می‌یابد و یا با افزایش دارایی‌های ثابت به میزان ٪۲۰ نرخ بازگشت سرمایه به ٪۲۴/۰۷ تقلیل می‌یابد. و همچنین در صورت کاهش درآمد فروش تا ۲۰ درصد، نرخ بازده داخلی به ٪ ۲۲/۲۳ کاهش می‌یابد و یا با کاهش دارایی‌های ثابت به میزان ٪۲۰ نرخ بازگشت سرمایه به ٪۳۶/۵۸ افزایش می‌یابد. و همچنین در صورت کاهش درهزینه های تولید تا ٪۲۰، نرخ بازده داخلی به ٪۳۰،۱۷ افزایش می‌یابد و یا با افزایش هزینه های تولید به میزان ٪۲۰ نرخ بازگشت سرمایه به ٪۲۸/۴۶ کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Renewenergy.ir

۵-۴- برآورد فرصت‌های شغلی و اشتغال‌زایی

بر اساس محاسبه کانون کارآفرینی استان تهران، میزان سرمایه گذاری برای ایجاد شغل در کشور به شرح زیر است:

جدول (۷) : میزان سرمایه‌گذاری برای ایجاد شغل در کشور (میلیون ریال) به قیمت جاری – محاسبات مشاور استانی[۱۵]

سال	شاخص ضمنی قیمت‌ها	متوسط در کشور	کشاورزی	صنعت و معدن	آب، برق و گاز	ساختمان	نفت	حمل و نقل و ارتباطات	سایر خدمات
۱۳۷۶	۱۰۰	۱۹۳	۱۵۶	۳۰۰	۱۰۰۰	۱۰	۲۱۵۰	۲۸۶	۱۳۴
۱۳۸۶	۳۷۹	۷۳۰	۵۹۲	۱۱۳۷	۳۷۹۰	۳۹	۸۱۴۹	۱۰۸۳	۵۰۹
۱۳۸۹	۵۶۵	۱۰۸۸	۸۸۳	۱۶۹۵	۳۶۵۰	۵۹	۱۲۱۴۸	۱۶۱۴	۷۵۸
۱۳۹۰	۶۴۰/۱	۱۲۳۳	۱۰۰۰	۱۹۲۰	۶۴۰۱	۶۷	۱۳۷۶۳	۱۸۲۹	۸۵۹
۱۳۹۱	۷۲۵/۳	۱۳۹۷	۱۱۳۳	۲۱۷۶	۷۲۵۳	۷۶	۱۵۵۹۴	۲۰۷۲	۹۷۳
۱۳۹۲	۸۲۱/۷	۱۵۸۳	۱۲۸۴	۲۴۶۵	۸۲۱۷	۸۶	۱۷۶۶۸	۲۳۴۸	۱۱۰۳
۱۳۹۳	۹۳۱	۱۷۹۳	۱۴۵۵	۲۷۹۳	۹۳۱۰	۹۷	۲۰۰۱۷	۲۶۶۰	۱۲۵۰
۱۳۹۴	۱۰۵۴/۹	۲۰۳۲	۱۶۴۸	۳۱۶۵	۱۰۵۴۹	۱۱۰	۲۲۶۸۰	۳۰۱۴	۱۴۱۶
میانگین	۸۳۵	۱۶۰۷	۱۳۰۴	۲۵۰۴	۸۳۴۶	۸۷	۱۷۹۴۴	۲۳۸۵	۱۱۲۰

در این به میزان ۳ تا ۶ نفر شغل دائم و در حدود ۱۰ نفر شغل غیر مستقیم ایجاد میگردد که با توجه به جدول بالا در بخش سرمایه گذاری برای ایجاد شغل در بخش صنعت هزینه ایجاد هر شغل بطور میانگین ۲۵۰۰ میلیون ریال برآورد گردیده است که با توجه به ایجاد ۱۳ تا ۱۶ نفر شغل مستقیم و غیر مسقیم این طرح ، هزینه معادل تامین این تعداد شغل برای صنعت کشور حدود ۳۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰۰ میلیون ریالی برآورد می‌گردد.

۶- نتیجه‌گیری

در حال حاضر در کشورهای توسعه یافته استحصال برق و حرارت در تصفیه خانه ها رواج بسیاری دارد. این تکنولوژی علاوه براینکه با کاهش عوامل بیماری‌زا، بوزا و حجم لجن از نظر زیست محیطی ضروری است، موجب تولید مقادیر قابل توجهی برق و حرارت می گردد. با توجه به نتایج ارائه شده، نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR) این طرح ها حدود ۲۹ درصد و زمان بازگشت سرمایه آن حدود ۵ سال می باشد. با توجه به حساسیت قابل توجه نتایج اقتصادی به پارامتر درآمد حاصل از فروش برق به شبکه، افزایش اندکی در نرخ خرید برق تولیدی از بیوگاز هاضم ها می تواند این سرمایه گذاری را برای بسیاری از سرمایه گذاران داخلی و خارجی جذاب تر نماید. خاطر نشان می سازد که با توجه به اهمیت زیست محیطی هضم بی هوازی لجن در تصفیه خانه فاضلاب، این گونه طرح ها علاوه بر کمک به صنعت برق و انرژی کشور می تواند از این نظر نیز مورد توجه قرار گیرد. به علاوه استفاده از این طرح ها می‌تواند مقدمه ای باشد تا تکنولوژی هضم بی هوازی به همراه نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از سایر خوراک های هاضم مانند زائدات کشاورزی، فضولات دامی و زباله های شهری در کشور توسعه یابد.

مراجع

۱- مصطفی داودی‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۴ طی مقاله‌ای با عنوان برآورد پتانسیل تولید بیوگاز و برق از فاضلاب شهری در کشور

www.SID.ir

Archive of SID

۲- حسین صادقی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در مقاله خود با عنوان تحلیل هزینه- فایده تولید پراکنده برق از بیوگاز در گاوداری های صنعتی ایران
۳- مریم بخشی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در مقاله خود با عنوان ارزیابی پتانسیل استحصال انرژی از فاضلاب شهری و ارائه مدل آن
۴- ابوالقاسم علی قارداشی و مهرداد عدل طی مقاله‌ای ابتدا مروری سریع بر تولید بیوگاز از فضولات حیوانی و فاضلاب های شهری و صنعتی در ایران
۵- لیولین طی مقاله ای با عنوان افزایش مقدار لجن و تولید بیوگاز برای مقابله با پدیده گرمایش زمین به بررسی تاثیر بازیافت کربن و استفاده از روش تصفیه ازن
۶ـ قاسمعلی عمرانی "روند توسعه بیوگاز در ایران و جهان"مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران"-صص ۱۵-۱
۷ـ سید جواد شیخ الاسلامی ، علیرضاکشتکار " فرایند تولید بیوگاز" دومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی ، خرداد ۱۳۷۷.
۸ـ خلیل شیخ قاسمی "تکنولوژی ساخت دستگاه Deenband hu و تجارب به دست آمده در حین ساخت در ایران" مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز - آبان ۱۳۷۵-صص ۱۳۷-۱۲۸
۹ـ مصاحبه با مهندس شیخ الاسلامی(مسئول بخش بیوگاز سازمان انرژی اتمی) و بازدید از واحد بیوگاز ماهدشت کرج، خرداد ۱۳۷۹
۱۰- مهرداد عدل "برآورد قابلیت های تولید انرژی از زائدات زیستی" پایان نامهٔ ارشد. دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران – ۱۳۷۸
11- Mata-Alvarez, J. 2003: Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes.
12- Ostrem, K. 2004: Greening Waste: Anaerobic Digestion For Treating The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes Earth Engineering Center Columbia University.
13- United Tech, I. (2003). Anaerobic Digestion, UTI Web Design. 2003.
14- Jason R.Wiser, P.E.James W.Schettler, P.E John L.Willis, P.E."EVALUATION OF COMBINED HEAT AND POWER TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT FACILITIES" Prepared for Columbus Water Works, Columbus, Georgia September 25, 2012
۱۵- کانون کار آفرینی استان تهران

www.Renewenergy.ir

www.SID.ir