



# ضرورت توسعه نیروگاههای تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز در کشور

فرنماز امین صالحی<sup>۱</sup>، محمدعلی عبدالی<sup>۲</sup>

## چکیده:

از دید روزافزون مواد زائد آلی حاصل از فعالیتهای مختلف در کشور، یکی از عوامل اصلی آلودگی محیط زیست می‌باشد. امروزه با توجه به پایین بودن بازده بهره‌گیری روش‌های سنتی، هزینه بالای دفن مواد زائد و آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از روش‌های مدرن نظیر هضم بی‌هوایی برای تولید بیوگاز متداول شده است. بیوگاز جمع آوری شده از فرآیند هضم بی‌هوایی، بعنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر مشابه با گاز طبیعی ولی با مقدار متنان و ارزش حرارتی کمتر قابل استفاده می‌باشد. اما امروزه با کمک فن آوری‌های تصفیه و آماده سازی مناسب، دسترسی به بیوگاز با خصوصیات کاملاً مشابه با گاز طبیعی امکان پذیر شده است [۱]. در حال حاضر بیوگاز بعنوان یکی از منابع عمده تأمین انرژی الکتریکی و حرارتی و ضمناً یک گزینه مناسب برای استفاده در موتور چهار ضربه‌ای، موتور دیزل، موتور استرلینگ، توربین گاز، میکرو توربین گازی و پیلهای سوختی جهت تولید برق می‌باشد [۲]. استفاده از بیوگاز به علل متفاوتی که به مزایای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن بر می‌گردد، در نیروگاههای تولید همزمان برق و حرارت برای تولید انرژی مورد توجه جهان واقع شده است [۳ و ۴]. تولید بیوگاز از فن آوری هضم بی‌هوایی و کاربرد آن در نیروگاههای CHP در ایران می‌تواند ضمن تأمین قسمتی از انرژی مورد نیاز کشور، حرکت در راستای توسعه پایدار را نیز محقق سازد. در این مقاله به ضرورت توسعه نیروگاههای تولید همزمان برق و حرارت بیوگازسوز در کشور، با توجه به بررسی هایی که از جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی صورت گرفته است، پرداخته می‌شود. همچنین برای اثبات اهمیت ضرورت احداث اینگونه نیروگاهها از دیدگاه اقتصادی محاسبات لازم برای یک نیروگاه بیوگاز تولید همزمان برق و حرارت بصورت مطالعه موردی انجام گردیده است.

تاریخ دریافت مقاله:

۸۸/۴/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله:

۸۸/۶/۱۰

## کلمات کلیدی:

بیوگاز، توسعه پایدار، زائدات  
آلی، تولید همزمان برق و  
حرارت، هضم بی‌هوایی



## مقدمه

در سالهای اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، موجب بحران انرژی در جهان گردیده است. مصرف روز افزون انرژی حاصل از سوختهای فسیلی اگر چه رشد سریع اقتصادی جوامع مختلف را بهمراه داشته است، اما بواسطه انتشار آلینده‌های حاصل از احتراق سوختهای فسیلی و افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر و پیامدهای ناشی از آن، جهان را با تغییرات تهدیدآمیزی روبرو کرده است. از سوی دیگر محدودیت منابع فسیلی و تجدید ناپذیر بودن این منابع موجب گردیده است تا سیاستگذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، جایگزینی حامل‌های انرژی، حرکت به سوی سوختهای پاک را در رئوس برنامه‌های خود قرار دهند. یکی از این گزینه‌ها، استفاده از حاملان انرژی حاصل از منابع بیوماس مانند بیوگاز می‌باشد. بیوگاز می‌تواند برای تولید برق یا حرارت استفاده شود. از آنجاییکه در فرآیند تولید برق معمولاً حرارت نیز به موازات آن تولید می‌گردد بنابراین بازیافت حرارت در چنین فرآیندی امکان پذیر است. این چنین نیروگاههایی را نیروگاه یا واحدهای تولید همزمان برق و حرارت می‌نامند (CHP=Combined Heat & Power).<sup>[۲]</sup>

امروزه کشورهای بسیاری در جهان به اهمیت این موضوع بی‌برده و در این زمینه فعالیت می‌نمایند. انگلستان در حال حاضر بیش از ۱۰۰ میلیون تن در سال مواد آلی شامل زائدات غذایی، لجن فاضلاب و محصولات انرژی زا تولید می‌نماید که برای تولید بیوگاز قابل استفاده هستند. برنامه‌ی این کشور تولید ۸/۰ تراوات ساعت در سال برق از طریق بیوگاز حاصل از هضم بی‌هوایی در نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز می‌باشد.<sup>[۵]</sup>

در کشورهای اروپای شرقی مانند بلغارستان، یونان، کرواسی، رومانی و لیتوانی مناسب ترین روشی که برای تولید انرژی از منابع بیوماس شناخته شده، نیروگاههای تولید همزمان بیوگاز سوز می‌باشد. مهمترین عواملی که توجه این کشورها را به این فن آوری جلب نموده است، راندمان بالای تولید انرژی و اقتصادی بودن آن به علت بازیافت حرارت تولیدی بوده است. معمولاً قسمتی از حرارت برای گرم کردن هاضم و مابقی آن برای کاربری‌های دیگر استفاده می‌شود.<sup>[۳]</sup>

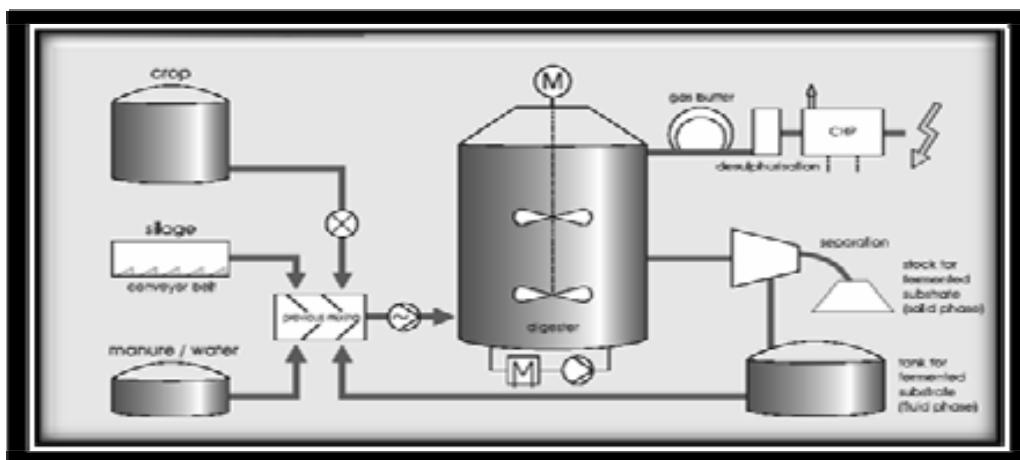
در آمریکا نیز مطالعات و تحقیقات زیادی بر روی تولید بیوگاز به روش هضم بی‌هوایی و احداث نیروگاه‌های CHP بیوگاز سوز صورت گرفته است. نتیجه این بررسی‌ها نشان داده است که این کشور در حال حاضر با استفاده از منابع بیوماس موجود چون فاضلاب‌های صنایع لبنی، فضولات دامی دامداریها و محصولات انرژی زا قادر است ۳ گیگاوات برق با احداث نیروگاه‌های CHP بیوگاز سوز تولید نماید.<sup>[۷]</sup>



در ایران نیز از سال ۱۳۵۳ مطالعات پراکنده‌ای توسط مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاهی انجام گرفته است که منتهی به ساخت چندین دستگاه بیوگاز به صورتهای آزمایشی گردیده است. اوین هاضم تولید گاز متان در ایران در روستای نیاز آباد لرستان در سال ۱۳۵۴ ساخته شد. این دستگاه به گنجایش ۵ متر مکعب، از فضولات گاوی روزتا تغذیه کرده و سوخت مورد نیاز حمام مجاور را تأمین می‌نمود. از سال ۱۳۶۱ مرکز تحقیقات انرژیهای نو در سازمان انرژی اتمی پژوهش‌های ویژه‌ای را در این زمینه به انجام رسانده که از جمله می‌توان به احداث ۱۰ واحد بیوگاز در استانهای سیستان و بلوچستان، ایلام و کردستان اشاره نمود. ضمناً احداث یک دستگاه بیوگاز طرح چینی با مدل آدم رو با ظرفیت ۱۳ متر مکعب در سال ۱۳۷۷ به صورت پایلوت برای شرکت خدماتی کیش طراحی و احداث کرده است که از پسماندهای جامد و مایع تغذیه شده است. در دهه ۱۳۶۰ وزارت جهاد سازندگی نیز در این راستا اقداماتی صورت داده است، بدین صورت که ابتدا در سال ۱۳۶۳ یک واحد آزمایشی در حیدر آباد کرج ساخته شد و سپس در سال ۱۳۶۴ یک نمونه واقعی در یکی از روستاهای شهر گرگان احداث کرد. همچنین جهاد سازندگی ۴۰ هاضم دیگر در مناطق مختلف کشور (۱۹ استان) بنا نمود که تنها ۱۸ واحد آن به مرحله گاز دهی رسیده است. در سال ۱۳۷۸ سازمان انرژیهای نو ایران پروژه‌ای را در زمینه احداث یک نیروگاه بیوگازسوز در ساوه تعریف نمود که با ساخت سایت تحقیقات بیوگاز با ۳ راکتور و آزمایشگاه مجهز به منظور تحقیقات، در ساوه آغاز گردید. لذا قدم‌های اویله برای رسیدن به تکنولوژی نیروگاهی بیوگاز در کشور برداشته شده است، از آنجاییکه بهبود کارآیی انرژی در تولید انرژی و اصلاح تولید برق از سیاستهای بنیادین کشور بشمار می‌آید بنابراین ضرورت مطالعه و بررسی برای ترویج و توسعه احداث نیروگاه‌های CHP بالاخص با استفاده از منابع بیوماس احساس می‌گردد. با توجه به این موضوع در این مقاله یک نیروگاه تولید همزمان بیوگازسوزی با فن آوری هضم بی‌هوایی از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد.

### واحد بیوگاز فرآیند هضم بی‌هوایی

یک واحد بیوگاز در واقع یک مخزن تخمیر (یا هاضم بی‌هوایی) ساده است. تخمیر بر روی مواد آلی ورودی مانند زائدات کشاورزی و فضولات حیوانی که در شکل (۱) نشان داده شده، صورت گرفته و از سوی دیگر گازهای حاصله (از جمله متان) و لجن باقیمانده (غنى از مواد حاصلخیزکننده‌ی خاک مانند پتاسیم، نیتروژن و فسفر) خارج می‌گردد. بطور کلی، انواع فن آوریهای بیوراکتور را می‌توان در صنعت یافت که در هر یک از انواع فرآیندها نکته مهم مخازن مقاومی است که می‌باید در اختیار باشد تا از تغییرات ناگهانی خوراک هاضم و قطع موقع عملیات اجتناب شود و بار متان سازی ثابت باشد.



شکل ۱: یک نوع از واحدهای بیوگاز برای زائدات کشاورزی و فضولات دامی

### نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت (CHP) بیوگاز سوز

کاربرد نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت برای واحدهای بیوگاز خیلی مرسومند. همگام با تولید برق، حرارت نیز با درصدی کمتر یا بیشتر بسته به فن آوری مولد برق تولید می شود. تقریباً ۵۰٪ نیروگاه های تولید همزمان حرارت و برق نصب شده برای واحد های بیوگاز در اروپا با موتورهای چهار مرحله ای جرقه ای و حدود ۵۰٪ با موتورهای تراکمی کار می کنند. فن آوریهای جدیدتر مانند پلیهای سوختی یا میکروتوربین های گازی بندرت استفاده می شوند. راندمان کلی یعنی مجموع راندمان های حرارتی و الکتریکی در محدوده ای بین ۸۵-۹۰ درصد برای نیروگاه های تولید همزمان برق و حرارت جدید قرار دارد. بنابراین فقط ۱۰-۱۵ درصد انرژی بیوگاز تلف می شود. مزایا و معایب نیروگاه های تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز که به هاضم های بی هوازی مرتبط می باشد، در جدول (۱) آمده است:

جدول ۱: مزایا و معایب نیروگاه های CHP بیوگاز سوز مرتبط با هاضم های بی هوازی [۶]

مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> <li>- حذف بو و حیوانات موذی</li> <li>- مدیریت مواد زائد</li> <li>- بهداشتی بودن</li> <li>- صرفه جویی انرژی</li> <li>- صرفه جویی حرارت</li> <li>- کاهش هزینه برق</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- مدیریت سیستم هاضم (نیروی کار، تعمیر و نگهداری)</li> <li>- تعمیر و نگهداری CHP</li> <li>- هزینه های اصلی</li> </ul>



## عوامل مشوق در احداث نیروگاه های تولید همزمان بیوگاز سوز در ایران

عوامل متعددی مشوق افزایش تولید و کاربرد بیوگاز در نیروگاه های بیوگاز سوز هستند، از جمله اصلی ترین آنها می توان به پتانسیل بالای منابع بیوماس، تولید انرژی برای کاهش مصرف گاز طبیعی، مشکلات دفع مواد زائد و هزینه های پنهان تولید انرژی از سوخت های فسیلی اشاره نمود، که در زیر به آنها پرداخته شده است.

### پتانسیل موجود منابع بیوماس

کلیه موادی که در طبقه بندی منابع بیوماس قرار می گیرند، دارای مواد آلی هستند و توانایی انجام واکنش هضم بی هوازی برای تولید بیوگاز را دارند. منابع اصلی بیوماس شامل زائدات کشاورزی، پسماند های شهری، فضولات دامی فاضلاب های شهری و صنعتی می گردد.

مقدار انرژی حاصل از بیوماس به طور منطقه ای فرق می کند و تا حد زیادی به شرایط آن منطقه بستگی دارد. به طور مثال، درصد مواد زاید آلی در پسماند شهری ایران حدود ۷۵٪، در حالیکه در آمریکا ۲۵٪ می باشد [۸]. این خصوصیت پسماندهای شهری در ایران آن را برای کاربرد در هاضم های بی هوازی برای تولید بیوگاز مناسب تر می کند.

با توجه به مقادیر چشمگیر تولید سالیانه منابع بیوماس در ایران که در جدول (۲) به آن اشاره شده است، اهمیت استفاده از این منابع جهت تولید بیوگاز مشخص تر می گردد.

جدول ۲: پتانسیل تولید سالیانه منابع بیوماس و تولید بیوگاز در ایران [۹]

منبع بیوماس	میزان تولید سالیانه (میلیون مترمکعب)	پتانسیل تولید بیوگاز
فضولات دامی	۷۴۹۴۶ (هزار تن)	۸۶۸
فاضلابهای شهری	۲۵۱۷۶ (هزار تن)	۱۰۸-۲۴۵
فاضلابهای صنعتی	۳۶۲۴۵ (هزار لیتر)	۸۲-۲۸۰
زائدات کشاورزی	۲۳۱۴۷ (هزار لیتر)	۵۴۷۵
زباله های شهری	۱۳/۸۷ (میلیون تن)	۱۶۴۶

### تولید انرژی برای جبران بخشی از مصرف گاز طبیعی

مجموع گاز متنان قابل تولید از زائدات زیستی در ایران ۹۱۷۵/۲ میلیون متر مکعب می باشد که در مقایسه با مصرف نهایی گاز در بخش های خانگی، تجاری و صنعتی کشور ۱۵٪ مصرف آن را تشکیل می دهد. این مقدار در مقایسه با مصرف گاز طبیعی در کلیه نیروگاه های کشور در سال ۱۳۸۶ حدود ۲۵٪ می باشد [۱۰].

## مشکل دفع مواد زائد

از مهمترین عوامل و فاکتورهای تشویق کننده استفاده از منابع بیوماس برای تولید بیوگاز، دفع مواد زائد آلاینده ای است که در واقع خوارک واحد های هاضم برای تولید بیوگاز می باشند. به عبارت بهتر، موادی که در حالت معمولی غیرقابل مصرف، زائد و آلوده کننده هستند، منابع بالقوه ای انرژی می باشند. یعنی استفاده از این مواد دو گونه سود آوری برای جوامع استفاده کننده به همراه دارند:

اولین سود کاربرد آنها کاهش چشمگیر هزینه های جمع آوری، دفع و هزینه های زیست محیطی بوده و دومین مزیت آن مصرف بیوگاز تولیدی در بخش های مختلف تولید انرژی می باشد. برای روشن تر شدن این موضوع به ذکر چند نکته پرداخته می شود. با توجه به تولید روزانه زباله حدود ۴۰ هزار تن در کشور، هزینه جمع آوری، پردازش و اضمحلال این حجم که رقم سرسام آوری خواهد بود، حذف می گردد. به عنوان مثال اگر چگالی زباله ای ایران و متوسط عمق دفن به ترتیب ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۵ متر در نظر گرفته شود. مقدار زمینی که روزانه برای دفن بهداشتی چنین زباله ای لازم است، حدود ۲۱۷۱۵ متر مربع و سالیانه حدود ۷۹۳ هکتار خواهد بود. هزینه دفن به تنها ی (هزینه های جمع آوری، جداسازی و حمل و نقل در نظر گرفته نشده است) حدود ۱۴ میلیارد تومان در سال خواهد بود.

نمونه ای دیگری از کاربرد منابع بیوماس، فاضلابهای شهری و صنعتی می باشد که سالیانه حدود ۴/۶ میلیارد مترمکعب تولید می شود. هزینه های جمع آوری، تصفیه و دفع این حجم فاضلاب، طبق برآورد های انجام شده برابر ۱۸۰۰ میلیارد ریال می باشد.<sup>[۱]</sup>

## هزینه های پنهان تولید انرژی از سوخت های فسیلی

هم اکنون تولید انرژی از سوخت های فسیلی با هزینه های پنهان متعددی همراه است. یکی از مهمترین این هزینه ها خدمات زیست محیطی است که این منابع انرژی ایجاد می کنند. هزینه های اجتماعی - زیست محیطی نیروگاه های فسیلی تولید برق در ایران بالغ بر ۱۸۰۷۴ میلیون ریال در سال ۱۳۸۶ بوده است<sup>[۸]</sup>. با توجه به این موضوع جایگزینی نیروگاه های مرسوم فسیلی با نیروگاه های بیوگاز سوز از نظر اجتماعی و زیست محیطی بسیار مفید خواهد بود.

## اهمیت نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز از دیدگاه توسعه پایدار

کاربرد نیروگاه های بیوگاز سوز مزایای زیادی از دیدگاه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به همراه دارد. از مهمترین این مزایا می توان به کاهش اثرات زیست محیطی با مدیریت مواد زائد آلی، ارتقاء سطح رفاه جامعه با اشتغال زایی و تولید برق و حرارت با هزینه کمتر و بهبود کارآیی انرژی اشاره نمود. بنابراین نیروگاه های بیوگاز سوز قادر است، نقش



مؤثری در پیشبرد جامعه به سمت توسعه پایدار ایفاء نماید. با توجه به این اهمیت ویژه، در بخش‌های بعدی به اثرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی کاربرد این نیروگاه‌ها پرداخته شده است.

#### بررسی اقتصادی احداث یک نمونه از نیروگاه بیوگاز سوز در ایران (مطالعه موربی)

عمده‌ترین چالش فراوری انرژی بیوماس، مسائل اقتصادی آن است. در حال حاضر هزینه تولید انرژی بیوگاز معمولاً با توجه به تکنولوژی مورد استفاده، کمی بیشتر از سایر انواع انرژی است. با این وجود هزینه در طول سالهای اخیر به دلیل پیشرفت فن‌آوری بشدت کاهش یافته و در صورت ادامه این روند، آهنگ رشد تولید انرژی بیوگاز بیشتر خواهد شد [۱۲].

به منظور بررسی اقتصادی نیروگاه CHP بیوگازسوز، کلیه مواردی که بایستی در سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود بصورت خلاصه در جدول (۳) آورده شده است.

به منظور بررسی اقتصادی نیروگاه‌های CHP بیوگاز سوز به یک مطالعه موردي از این نیروگاه که خوراک آنها زائدات کشاورزی و فضولات دامی می‌باشد، پرداخته شده است. در این مطالعه موردي حجم بیوراکتور نمونه ۴۳۱ مترمکعب و ظرفیت اسمی نیروگاه CHP بیوگاز سوز، ۱۱۱kW محاسبه شده است. مطابق جدول (۳) هزینه سرمایه‌گذاری برای راکتور ۴/۶۴ میلیون ریال بر متر مکعب و همچنین هزینه سرمایه‌گذاری ویژه برای CHP در واحد انرژی الکتریکی برای یک نیروگاه ساده CHP حدود ۵/۶ میلیون ریال بر کیلو وات تعیین گردیده است. در محاسبات اقتصادی هزینه سرمایه‌گذاری بدون در نظر گرفتن CHP حدود ۲ میلیارد ریال و برای تأسیسات مربوط به CHP حدود ۷۲۰ میلیون ریال برآورد شده است. هزینه‌های CHP شامل هزینه‌های اتصال الکتریکی بین نیروگاه و شبکه برق بر اساس امکانات فنی و منطقی برای کوتاه‌ترین فاصله می‌باشد. بنابراین هزینه کل برابر ۲/۷۲۰ میلیارد ریال برآورد شده است. در واحد بیوگاز CHP مورد مطالعه انرژی بصورت برق و حرارت مصرف می‌گردد که در جدول (۴) توان مصرفی برق و حرارت به ترتیب ۱۵/۳ و ۲۵/۸ آورده شده است.

در جداول (۵، ۶ و ۷) به ترتیب هزینه‌های اصلی، مصرفی، عملیاتی و درآمد سالیانه با ارائه جزئیات برای نیروگاه محاسبه گردیده است.

این نیروگاه از نوع موتورهای احتراقی تراکمی (CI) (دوگانه سوز) می‌باشد، که با توجه به شرایط نیروگاه‌های بیوگاز سوز کوچک حدود ۱۰٪ از سوخت گازوئیل استفاده می‌شود.

جدول ۳: مقادیر نمونه برای هزینه های نیروگاه های بیوگاز سوز با خوراک زواید کشاورزی [۱۳]

هزینه پایه	مقادیر نمونه (US\$)
هزینه سرمایه گذاری برای $kW_e$ CHP	۵۰۰-۱۵۰۰
هزینه سرمایه گذاری بر $m^3/h$ راکتور	۳۰۰-۵۰۰
هزینه سرمایه گذاری بر ۱ واحد فضولات دامی	۴۵۰-۷۰۰ (سازه شخصی) ۶۵۰-۱۸۰۰ (سازه صنعتی)
هزینه سرمایه گذاری بر $kW$ ۱ نیروگاه نصب شده	۲۴۰۰ (واحد های بزرگتر از ۳۰۰ کیلووات) ۶۰۰۰ (واحد های کوچک)
هزینه سرمایه گذاری بر $m^3/h$ بیوگاز	۴۰۰۰-۷۰۰۰ (واحد به تنها بیان) ۵۵۰۰-۹۰۰۰ (شامل سیلو برای زائدات ذرت)

جدول ۴: فهرست مصرف کنندگان و توان مصرفی آنان در واحد تولید بیوگاز

مصرف کنندگان	توان (kW)
همزن ها	۱۳/۴
پمپ	۰/۶
نقاله پیچشی برای ذرت و علف	۰/۸
کمپرسور هوا	۰/۵
توان کل برق مصرفی	۱۵/۳
اتلاف حرارت از طریق دیوار بیوراکتور	۸/۸
حرارت برای گرم کردن خوراک	۱۷
توان کل حرارت مصرفی	۲۵/۸

جدول ۵: هزینه های اصلی (سالیانه/هزار ریال)

هزینه های بتن ریزی هاضم	۶۳۰۰
هزینه های تجهیزات فنی	۷۴۰۰
هزینه های CHP	۱۸۰۰۰
هزینه های بهره وام(٪۱۲)	۳۲۶۴۰۰
جمع کل	۶۴۳۴۰۰



در جدول (۶) میزان سوخت مصرفی ۱۰۰ لیتر در روز که هزینه آن لیتری ۲۵۰ ریال یعنی با قیمت واقعی و بدون یارانه سوختی در نظر گرفته شده است.

با توجه به هزینه های آورده شده، هزینه کل این نیروگاه بیوگازسوز ۸۳۲ میلیون ریال در سال برآورد می شود. ضمناً این نیروگاه همراه با فروش برق و حرارت اضافی و باقیمانده حاصل از فرآیند تخمیر که برای استفاده کود بسیار مناسب است، نیز درآمد خواهد داشت.

جدول ۶: هزینه های مصرفی در سال (سال/هزار ریال)

۶۶۰۹	هزینه برق
۱۰۰۰۰	هزینه سوخت
۱۵۳۸۰	هزینه حرارت
۳۱۹۰۹	هزینه کل

جدول ۷: هزینه های عملیاتی سالیانه (سال/هزار ریال)

۶۳۰۰	هزینه های تعمیر و نگهداری بتن ریزی
۲۲۲۰۰	هزینه های تعمیر و نگهداری تجهیزات فنی
۲۸۸۰۰	هزینه های تعمیر و نگهداری CHP
۱۰۰۰۰	هزینه کارکنان
۱۵۷۳۰۰	جمع کل

این در آمدزایی بصورت سالیانه در جدول (۸) آورده شده است. ضمناً در محاسبات میزان ساعت کارکرد نیروگاه ۸۶۴۰ ساعت در سال، میزان ظرفیت توان الکتریکی و حرارتی عملی به ترتیب  $۸۵/۴$  و ۱۴۲ کیلووات در نظر گرفته شده است.

جدول ۸: درآمد سالیانه (سال/هزار ریال)

۹۰۷۵۶۳/۸۸۰	فروش برق
۸۴۶۵۴/۷۲۰	فروش حرارت
۱۰۰۰۰	فروش کود
۱۰۰۲۲۱۷/۶	درآمد کل

بنابراین درآمد سالیانه نیروگاه بیوگازسوز مطالعه شده که با توجه به نرخ خرید برق برای انرژی های تجدید پذیر، هر کیلو وات ساعت برق ۱۲۳۰ ریال و برای انرژی حرارتی هر ۱۰ کیلو وات ساعت حرارتی برابر قیمت ۱ متر مکعب گاز طبیعی، ۶۹۰ ریال، محاسبه شده است (بخشنامه وزارت نیرو). در صورت حذف مخارج سالیانه (۸۳۲ میلیون ریال در سال) از درآمد سالیانه (۱۰۰۲/۲۱۷ میلیون ریال)، سود سالیانه نیروگاه ۱۷۰ میلیون ریال در سال خواهد بود که از نظر ملی اقتصادی و قابل توجیه می باشد و دوره بازگشت سرمایه آن کمتر از ۶ سال بدون در نظر گرفتن مقدار کاهش گازهای گلخانه ای و صرفه جویی گاز طبیعی معادل خواهد بود.



## بررسی اجتماعی احداث نیروگاه‌های بیوگاز سوز

سیستم های انرژی های تجدیدپذیر نسبت به سیستم های انرژی سوختهای فسیلی به نیروی کار بیشتری احتیاج دارد. ضمناً از میان فن آوری های انرژی تجدیدپذیر، مشاغل مربوط به فن آوری های بیو انرژی به علت تفاوتی که با دیگر فن آوری ها دارد، تنوع و تعداد موقعیت های شغلی آن بیشتر می باشد. این موضوع در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹: موقعیت شغلی سالیانه بر مبنای ۱۰۰ GWh تولید برق [۱۴]

۱-۶	تکنولوژی های سوخت فسیلی
۱۵-۲۰	باد
۵۰-۵۴	فتولتائیک
۲۵-۲۷	حرارت خورشیدی
۸-۹	آبی کوچک
۱۸-۱۹	بیوماس - زائدات جنگلی
۶۴	بیوماس - گیاهان انرژی زا
۵۸	بیوگاز - زائدات کشاورزی

جدول ۱۰: مثال‌هایی از مشاغل حاصل از پروژه‌های بیوانرژی [۱۵]

کشور	PJ	کل مشاغل در	مشاغل القابی	مشاغل غیرمستقیم	مشاغل مستقیم	پروژه بیوماس
فرانسه	۱۱۵	۳۰	۳۳	۵۲	CHP	زائدات جنگلی
ایتالیا	۶۵	۱۳	۱۱	۴۱	CHP	زائدات صنعتی
هلند	۴۲	۲۷	۲	۱۳	CHP	پسماند شهری

انواع شغل ها بر اساس پروژه های بیو انرژی شامل مشاغل مستقیم، غیر مستقیم و القابی (induced employment) می شود. مشاغل مستقیم شامل تولید سوخت؛ ساخت، عملیات و تعمیر و نگهداری واحد تبدیل و حمل و نقل سوخت ها است. مشاغل غیر مستقیم به کلیه مشاغل ناشی از کلیه فعالیتهای مرتبط گفته می شود. مشاغل القابی مشاغلی است که مرتبط با فروش برق اضافی می باشد. در جدول (۱۰) مثال‌هایی از مشاغل حاصل از پروژه‌های بیوانرژی آمده است.

## بررسی زیست محیطی احداث نیروگاه بیو گاز سوز

آنچه که انرژی بیوگاز را از نظر زیست محیطی، نسبت به سایر انرژیهای تجدیدپذیر متمایز می کند، جمع آوری و کنترل موادآلی زائد شهرها و صنایع، کاهش اثرات گازهای گلخانه ای، جلوگیری از آلودگی آبهای زیزمینی، از بین بردن تخم علفهای هرز و انگلها می باشد. همچنین استفاده از زائدات آلی در فن آوری هضم بی هوازی باعث کاهش تولید متان، دی اکسید کربن و اکسید نیتروژن می شود که اثر گلخانه ای این گازهای متان و اکسید نیتروژن از CO<sub>2</sub> بیشتر است، بطور مثال اثر گلخانه ای متان حدود ۲۱ برابر CO<sub>2</sub> می باشد این نسبت در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول ۱۱: نسبت اثر گاز های گلخانه ای [۳]

۱	CO <sub>2</sub>
۲۱	CH <sub>4</sub>
۳۱۰	N <sub>2</sub> O
۲۳۹۰۰	SF <sub>۴</sub>
۶۵۰۰-۹۲۰۰	PFC
۱۴۰-۱۱۷۰۰	HFC

همچنین نتایج مطالعات بر روی یک نمونه دامداری با ۲۰۶۹ رأس دام که روزانه حدود ۲۰ متر مکعب فضولات دامی در یک هاضم با حجم ۳۰۰ متر مکعب پردازش می گردد، نشان داده است که در بهترین حالت بیوگاز تولیدی ۱۱۹۸ متر مکعب می باشد. با توجه به اینکه ۵۶٪ بیوگاز تولیدی، متان بوده است. لذا حجم متان در این وضعیت ۱۵۰ متر مکعب در روز، یعنی معادل وزنی ۱۰/۷ کیلو گرم در روز یا معادل ۳۹ تن CO<sub>2</sub> در سال می باشد[۱۶]. در این شرایط مقدار ۳۵٪ از CO<sub>2</sub> تولیدی کسر می شود.

### نتیجه‌گیری

تولید حجم وسیعی از منابع بیوماس در ایران حکایت از قابلیت بالای بیوماس برای تولید انرژی در کشور دارد. در این میان فن آوری های تولید بیوگاز از روش هضم بی هوازی در جهان توسعه بسیاری نموده است، بخصوص زمانی که بیوگاز حاصل از آن در نیروگاههای تولید همزمان برق و حرارت استفاده می شود. با احداث این نوع نیروگاهها نه تنها سالانه مقدار چشمگیری برق و حرارت، بلکه هزاران تن کود طبیعی برای کشاورزی تولید خواهد شد که اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی چشمگیری را به همراه دارد. محاسبات اقتصادی برای یک نمونه از نیروگاههای بیوگاز سوز با ظرفیت ۱۱۱ kWe که بیوگاز مصرفی را از یک بیوراکتور نمونه ۴۳۱ متر مکعبی تأمین می نماید، انجام گردید. مخارج این نیروگاه که شامل هزینهای اصلی، مصرفی و عملیاتی می باشد، برابر ۸۳۲ میلیون ریال در سال است. در حالیکه درآمد نیروگاه که به فروش برق و حرارت اضافی و کود حاصله منحصر می گردد، برابر ۱۰۰/۲/۲۱۷ میلیون ریال در سال می باشد. با توجه به مخارج و درآمد سالیانه نیروگاه، سود سالیانه حاصل ۱۷۰ میلیون ریال در سال است. نتایج محاسبات نشان می دهد که احداث نیروگاه بیوگاز سوز اقتصادی است و از بازگشت سرمایه قابل قبولی برخوردار است. ضمن آنکه با افزایش ظرفیت نیروگاه به علت کاهش در هزینه سرمایه‌گذاری نسبت به تولید برق و حرارت، سود بیشتری را به همراه خواهد داشت.

- همچنین مهمترین مزایای اجتماعی که برای این نیروگاه های بیوگاز سوز می توان برشمرد، شامل موارد زیر می گردد:
- ایجاد موقعیت های شغلی بیشتر نسبت به نیروگاههای فسیلی
  - بهبود وضعیت سلامت و بهداشت برای عموم مردم
  - تولید کود بهبود دهنده خاک (بخصوص با توجه به فقر عمومی خاک در کشور)



اثر زیست محیطی کاربرد این نیروگاه‌ها نیز بسیار چشمگیر است، زیرا استفاده از زایدات آلی در فن آوری هضم بی‌هوایی باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای چون متان، دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروژن می‌گردد. بنابراین نتایج حاصله بخوبی نمایانگر ضرورت ترویج و توسعه در احداث نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز، که راهی به سوی توسعه پایدار در کشورخواهد بود، می‌باشد.

## منابع

- [1] Berglund, M., Borjesson, P. (2006) "Assessment of Energy Performance in the Life-Cycle of Biogas Production", Biomass and Bio-energy No.30, pp.254-266.
- [2] Rutledge, B., (2005) "California Biogas Industry Assessment", White paper.
- [3] Finsterwalder, T., Rutz, D., (2008) "Technical Opportunities for the Utilization of Biogas in Eastern Europe", Finsterwalder Umwelttechnick Project, Germany.
- [4] Nielsen, J.B.H.; Oleskowicz-popiel,P. (2007)"The Future Biogas in Europe: Visions and Targets Until 2020", European Biogas Workshop, The Future of Biogas in Europe-III,14-16 June, Denmark, pp. 101-108.
- [5] www.energy.co.uk/, available 2009.08.09.
- [6] Cuttica, j. (2006) "CHP-The Concept", Midwest CHP Application Center, University of Illinois at Chicago.
- [7] Kramer, J. (2008) "Winsconsin Agricultural Biogas Case book", Prepared for focus on Energy, Energy Center of Wisconsin.
- [۸] عبدالی، محمد علی(۱۳۸۷)"بازیافت مواد زاید جامد شهری" ، انتشارات دانشگاه تهران
- [۹] پژوهشگاه نیرو، وزارت نیرو (۱۳۷۸) "پتانسیل سنجی انرژی زیست توده و سهم آن در کشور ایران" ، طرح توسعه انرژی های نو
- [۱۰] وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی (۱۳۸۶) "ترازnamه انرژی".
- [۱۱] شریفی سیستانی، محمد (۱۳۷۸) "تصفیه فاضلاب در ایران: گذشته، حال و آینده" ، مجله آب و محیط زیست، شماره ۳۸
- [12] Godfrey, B. (2004) "Renewable Energy: Power for a Sustainable Development" Second Edition, Published by Oxford University.
- [13] Wu, D.W., Wang, R.Z. (2006) Combined Cooling, Heating and Power: A Review, Progress in Energy and Combustion Science, Elsevier, Vol.32, PP. 459-495.
- [14] Sims, R.E.H. (2004) "Biomass and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies", OECD Publication, Paris, PP. 91-103.
- [15] Tossero, M. A. (2005)"Socio-Economic Aspects of Wood Energy Systems in Developing Countries: A Focus on Employment, FAO-Rome.
- [16] Promotion of Renewable Energy, Efficiency and Green house Gas Abatement (PREGA)(2006) "Biogas Product at Vanith Farm", A Pre-feasibility Study Report, Lao PDR.