فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال چهارم/ شماره ۱۲/ پاییز ۱۳۹۷/ صفحات ۱۸۰-۱۴۷

تحلیل مالی استفاده از یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز در یک دامداری نمونه در ایران

فاطمه تیموری حمزه کلایی
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان
f.teymoori@semnan.ac.ir
نیما امجدی
استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول)
amjady@semnan.ac.ir
مصطفی جزایری
استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان
mjazaeri@semnan.ac.ir

در این مقاله، بیوگاز تولیدی یک مخزن تخمیر فضولات دامی با حجم ۴۳۳ مترمکعب دریک دامداری نمونه با ۳۰۵۵ راس گاو شیرده، جهت طراحی و امکان استفاده ازسیستم تولید همزمان برق و حرارت مورد استفاده قرار گرفته است. روزانه ۳۰ مترمکعب فضولات دامی در هاضم پردازش می‌گردد. با استفاده از مدل توسعه داده شده و داده‌های به‌دست آمده از دامداری، مشخص گردید که ۵۳۹۱۰ مترمکعب بیوگاز تولیدی ماهانه، می‌تواند یک سیستم CHP 350 کیلوواتی با موتور احتراقی تراکمی (CI) دوگانه سوز را به صورت پیوسته به‌حرکت درآورد. مقدار صرفه‌جویی سالانه در هزینه‌های انرژی ۱۱۴۲.۲ میلیون ریال و درصد سوددهی سیستم ۳۴٪ تعیین گردید، ودوره بازگشت سرمایه آن ۳.۷ سال می‌باشد. در انتهای این مقاله تحلیل حساسیت‌هایی بر قیمت گازوئیل، قیمت برق و قیمت فرش برق به شبکه انجام گرفته و تغییرات شاخص سوددهی و دوره بازگشت سرمایه در برابر تغییر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم CHP مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که بررسی‌های انجام شده مربوط به سال ۱۳۹۵ می‌باشد.

واژگان کلیدی: بیوگاز، CHP، دامداری، مدل فنی اقتصادی، سوددهی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۶

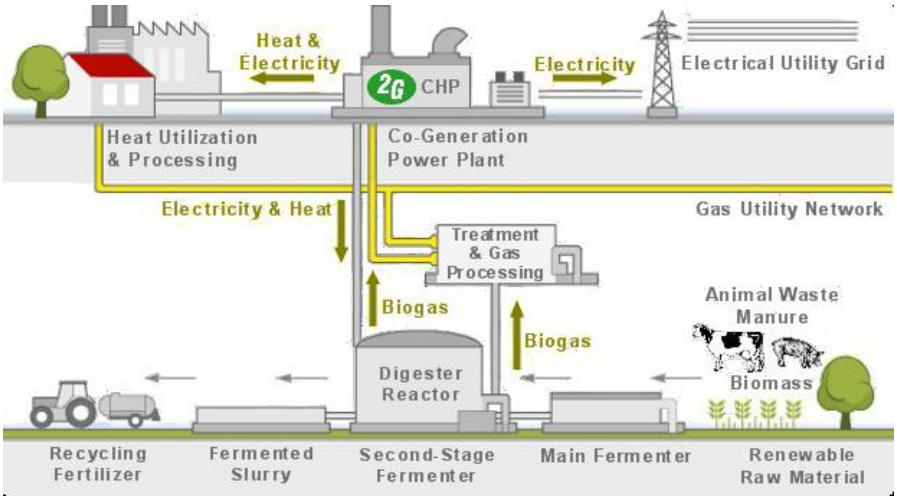
۱. مقدمه

محدودیت منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر ناشی از مصرف بی‌رویه از یک سو و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی از سوی دیگر بشر را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است. امروزه کشورهای بسیاری در جهان به اهمیت موضوع استفاده از بیوگاز برای تولید برق و حرارت پی برده 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 انرژی‌زا تولید می‌نماید که برای تولید بیوگاز قابل استفاده هستند. برنامه‌ی این کشور تولید حدود ۰۸ تراوات ساعت در سال برق از طریق بیوگاز حاصل از هضم بی‌هوازی در نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز می‌باشد. (دهدشتیان و مرندی، ۱۳۷۸)

در بین انرژی‌های تجدیدپذیر بیوگاز به‌دلیل غنی بودن از متان که نتیجه تخمیر مواد آلی می‌باشد و وجه تمایزش از دیگر منابع تجدیدپذیر که چهار جنبه اصلی تولید انرژی، سالم‌سازی محیط زیست، تهیه کود غنی و استفاده از مواد اولیه را در بر می‌گیرد مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. مواد آلی که در دستگاه بیوگاز به‌کارگرفته می‌شود می‌توانند از هر منبعی سرچشمه بگیرند مشروط برآن‌که شرایط شیمیایی و فیزیکی لازمه برای باکتری‌های متان‌زا فراهم باشد. درفرآیند هضم بی‌هوازی مولکول‌های آلی درشت زنجیر تحت تاثیر میکرو ارگانیسم‌های بی‌هوازی در غیاب اکسیژن شکسته شده و به مولکول‌های ساده‌تر تبدیل می‌شوند. حاصل نهایی این فرآیند یک مخلوط گازی قابل اشتعال است که بیوگاز نام دارد. این گاز شامل ۷۰-۶۰ درصد متان و ۴۰-۳۰ درصد دی‌اکسیدکربن به همراه ناخالصی‌های جزئی دیگر است. این گاز بی‌رنگ و بی‌بو بوده و می‌تواند به‌طور مستقیم برای تولید برق، حرارت، روشنایی و انرژی مکانیکی به‌کار رود (قیصری، ۱۳۸۹).

وسعت فراوان کشور و تنوع کمی و کیفی منابع زیست‌توده در ایران حکایت از وجود قابلیت مناسب برای تولید برق از منابع زیست‌توده دارد. نتایج تحقیقات عملی انجام شده در راکتورهای آزمایشگاهی و نیمه صنعتی نشان می‌دهد که استفاده ازفناوری هضم بی‌هوازی و احداث نیروگاه‌های بیوگازی می‌تواند راه حلی مطمئن برای ایجاد سهم مناسب زیست‌توده در تولید و تامین برق کشور در کنار حل مشکلات زیست محیطی پسماندهای آلی مختلف ایران شامل زباله‌های شهری، پسماندهای صنایع غذایی، فضولات دامی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی گردد. عمده‌ترین چالش فرآوری انرژی‌های تجدیدپذیر، مسائل اقتصادی آن‌هاست. در نتیجه برای کاستن این چالش می‌توان از ترکیب این‌گونه سیستم‌ها با سیستم‌های دیگری که از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است استفاده کرد. یکی از این‌گونه سیستم‌ها با توجیه‌پذیری بالا، سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت است که به اختصارCHP[1] نامیده می‌شود. CHP یک فناوری با راندمان بالا برای تولید برق و انرژی گرمایی از یک منبع سوخت می‌باشد. این به‌معنای مصرف سوخت کمتر، تولید انرژی با هزینه پایین‌تر و در یک روش بسیار سازگارتر با محیط زیست می‌باشد. علاوه بر این سیستم‌های تولید همزمان می‌توانند برقی با کیفیت بالا و قابل اطمینان تولید نمایند. شکل (۱) نمایی از یک واحد تولید برق و حرارت همزمان با پلنت استحصال بیوگاز را نشان می‌دهد.

1. Cogeneration Of Heat and Power



شکل۱. تولید برق و حرارت در یک سیستم CHP با استفاده از بیوگاز تولیدی از فضولات دامی.
(شرکت فناوری‌های انرژی پاک، ۲۰۱۷)[1]

در این مقاله یک مدل مالی جدید، با استفاده از نرم‌افزار Matlab، به‌منظور بررسی امکان استفاده از سیستم‌های CHP با پلنت استحصال بیوگاز از فضولات دامی در یک دامداری نمونه توسعه داده شده است. مدل شامل یک دستگاهCHP با محرک اولیه موتور احتراق داخلی با راندمان الکتریکی ۲۵-۲۰ درصد و راندمان حرارتی۶۵-۶۰ درصد است که از بیوگاز استحصالی از فضولات دامی به‌عنوان سوخت ورودی استفاده می‌کند. این CHP از نوع موتورهای احتراقی تراکمی(CI)[2] دوگانه سوز می‌باشد،که درصورت نیاز می‌تواند ازسوخت گازوئیل نیز استفاده کند. بخشی از روابط به کار رفته در مدل با استفاده از مدل توسعه داده شده توسط هونگبو و ویجون (هونگبو و ویجون، ۲۰۰۹)[3] که به ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم Micro CHP

1. CENERGY
2. Compression Ignition
3. Hongbo and Weijun

باروش‌های عملکردی مختلف می‌پرداخت، ایجادشده است. مدل میزان انرژی الکتریکی و حرارتی تولید شده در این واحد نمونه را به صورت ماهانه و سالانه محاسبه کرده و با میزان انرژی‌های الکتریکی و حرارتی مصرفی مقایسه کرده و میزان صرفه‌جویی سالانه در مصرف انرژی، درصد سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را تعیین می‌نماید. پس از تحلیل مدل و بررسی نتایج به‌دست آمده در ادامه تحلیل حساسیت‌هایی بر قیمت گازوئیل، قیمت خرید برق از شبکه و قیمت فروش برق به شبکه انجام پذیرفته است تا تأثیر عوامل کلیدی بر سوددهی سیستم و دوره بازگشت سرمایه مشخص گردد. در پایان هم نتایج کار ارائه گردیده است.

این مقاله به ۶ بخش تقسیم می‌گردد: در بخش اول مقدار بیوگاز تولید شده از فضولات دامی ناخالص، در مزرعه پرورش گاوهای شیری تعیین گردید. در بخش دوم تقاضای ماهانه انرژی الکتریکی و حرارتی دامداری در یک سال نمونه تعیین شده است. در بخش سوم، مدل‌سازی واحد تولید همزمان برق و حرارت انجام شده است. ارزیابی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در بخش چهارم ارائه گردید. در بخش پنجم، تحلیل حساسیتی انجام شده است که نشان می‌دهد چگونه سوددهی سیستم تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز با تغییر بعضی از پارامترهای کلیدی مانند قیمت گازوئیل و قیمت خرید و فروش برق از شبکه تغییر خواهد کرد و در نهایت در بخش پایانی نتایج ارائه شده ومورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

نتایج به‌دست آمده از این مدل‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از بیوگاز به‌عنوان سوخت برای تولید همزمان برق و حرارت می‌تواند مصرف انرژی اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. مدل پیشنهادی حاوی جزئیات ارزشمندی است که می‌تواند برای برنامه‌ریزی، گسترش و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و دامی و سایر موارد مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

۲. پیشینه تحقیق

بیوگاز یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که از طریق تخمیر بی‌هوازی مواد و ضایعات ارگانیک به‌دست می‌آید. بیوگاز سهم عمده‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر را به خود اختصاص

داده است، به‌نحوی که تعداد ۲۷ میلیون هاضم بیوگاز در چین (باند و تمپلتون، ۲۰۱۱)[1]، چهار میلیون هاضم در هند(باند و تمپلتون، ۲۰۱۱)، ۸۷۲۶ هاضم در آلمان (ای یوور آبزرو، ۲۰۱۵)[2] و ۱۷۰۰ هاضم در ایتالیا (باسنتی و همکاران، ۲۰۱۶)[3] و(نگری و همکاران، ۲۰۱۴)[4]، مشغول به تولید بیوگاز می‌باشند. بنابراین درسال‌های اخیر استفاده از انرژی بیوگاز در بسیاری از نقاط دنیا برای تولید انرژی در واحدهای دامپروری پذیرفته شده است و بسیاری از کشورها برنامه‌هایی برای حمایت‌های علمی و مالی از نصب هاضم‌های بی‌هوازی در دامپروری‌ها دارند. از این رو موج عظیمی از کشورها اروپایی در صدد احداث نیروگاه‌های بی‌هوازی جهت تولید برق و گرما از انرژی بیوگاز می‌باشند.

بعضی از تحقیقاتی که در زمینه استفاده از بیوگاز انجام شده عبارتند از: کاظم و فرزانه(۱۳۹۲) به بررسی فنی و اقتصادی یک مدل جهت تولید توان الکتریکی بهینه از احتراق کاتالیستی گاز متان رقیق موجود در بستر معدن زغال سنگ طبس ایران پرداختند. نتایج نشان داد که برای معدن زغال سنگ مذکور ۸۰۸۸ کیلووات توان الکتریکی تولید می‌شود که ۷۵درصد از نیاز الکتریسیته از این معدن تأمین خواهد شد. نرخ بازگشت سرمایه در این تحلیل اقتصادی ۳۶ درصد بوده است (کاظم و فرزنه، ۱۳۹۲)[5]. سلطانعلی و همکاران(۱۳۹۶) به بررسی روند مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر(سوخت و الکتریسیته) در واحدهای تولیدی شیر درایران، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از انرژی بیوگاز در قالب پنج سناریو مختلف پرداختند. نتایج نشان داد با انتخاب سناریوهای با سهم بیشتر بیوگاز در تأمین انرژی، امکان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد و به‌کارگیری سامانه‌های بیوگاز

1. Bond and Templeton
2. EurObserv'ER
3. Bacenetti et al
4. Negri et al
5. Kaazem and Farzane

علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز می‌تواند در کاهش گازهای گلخانه‌ای موثر واقع شود. (سلطانعلی و همکاران، ۱۳۹۶)[1]

در ایالت رمانت (در شمال شرق ایالت متحده) استفاده منسجم و اصولی مخازن بیوگاز در واحدهای تولید شیر پیشنهاد شد. در این ایالت کمتر از یک درصد از این واحدها به این سامانه مجهز بودند. در واقع با مدیریت کود دامی می‌توان در تأمین انرژی مورد نیاز برای دامپروری اقدام کرد. (فاوو، ۲۰۰۶)[2]

مطالعه‌ای در شمال شرق کشور اسپانیا در مورد نقش هاضم‌های بی‌هوازی در جهت کاهش اثرات زیست محیطی در مزارع تولیدی شیر صورت گرفت که در صورت به‌کارگیری و نصب هاضم‌های بی‌هوازی در مزرعه می‌توان از تولید ۹۷۸ تا ۱۷۷۶ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در سال در هر مزرعه پیشگیری کرد. (مارانون و همکاران، ۲۰۱۱)[3]

جاکوبسن و همکاران(۲۰۱۴) جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی استفاده از یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز را در دانمارک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که سودآوری واحد بیوگاز سوز با به‌کار بردن سیاست جدید انرژی بهبود یافته و همچنین مقدار بیوگاز تولیدی افزایش خواهد یافت(جاکوبسن و همکاران، ۲۰۱۴)[4]. تورکاتی و همکاران(۲۰۱۴) به تجزیه و تحلیل مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز در ایتالیا پرداختند. این سیستم از کود دامی، فاضلاب لبنی و ضایعات زیتون به‌عنوان سوخت ورودی استفاده می‌کرد. نتایج نشان داد که در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گل‌خانه‌ای سیستم تولید همزمان برق و حرارت بیوگاز سوز کمتر از

1. Soltanali et al.
2. FAO
3. Maranon et al.
4. Jacobsen et al.

نصف می‌باشد. سود عملیاتی[1] و بازده سرمایه‌گذاری[2] به‌ترتیب ۱۴۰۵۶۰ یورو و ۵٪ بوده است (تورکاتی و همکاران، ۲۰۱۴)[3]. مرتیس و همکاران(۲۰۱۴) عملکرد (شامل انرژی خروجی و پایداری عملکرد) یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت هوشمند را که از ضایعات کشاورزی استفاده می‌کرد، مورد بررسی قرار دادند. برای تولید برق و حرارت این سیستم می‌تواند از بقایای مختلف زیست توده کشاورزی مانند دانه انگور، هسته زیتون و هسته هلو استفاده کند. نتایج نشان داد که زمانی‌که هسته زیتون به‌عنوان سوخت ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد واحد تولید برق و حرارت دارای بالاترین خروجی است، در حالی که کمترین بازده از دانه انگور به دست آمده است.(مرتیس و همکاران، ۲۰۱۴)[4]

رستا و همکاران(۲۰۱۵) استفاده از بیوگاز تولیدی از کود گاوی برای تولید برق در یک مزرعه نمونه در اندونزی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از یک ژنراتور ۲ کیلوواتی برای تولید برق استفاده کردند. مزرعه نمونه ۱۸-۵۴ گاو داشت و ۱۰-۳۰ کیلوگرم کود گاوی در هر روز تولید می‌گردید. تجزیه و تحلیل اقتصادی به‌ترتیب منجر به تولید نرخ بازده داخلی[5]، شاخص سودآوری[6]، نرخ بازده متوسط[7] و دوره بازگشت سرمایه ۱۸/۶٪ -۳۱/۲۹٪، ۱/۵-۲/۳، ۱۵/۴۴٪ - ۲۹/۴۱٪ و ۵/۱۳-۳/۳۵ سال گردید. (رستا و همکاران، ۲۰۱۵)[8]

سانتولی و همکاران(۲۰۱۵) یک مدل اقتصادی زیست محیطی جدید برای تأمین نیازهای انرژی یک فرودگاه نمونه، با استفاده از گزینه‌های مختلف زیست توده (زیست توده از ضایعات چوب، روغن نباتی / بیودیزل و بیوگاز از مواد زائد مواد غذایی) توسعه دادند. با استفاده از این

1. Operating profit
2. Return on Investment (ROI)
3. Torquati et al.
4. Mertzis et al.
5. Internal rate of return (IRR)
6. Profitability index (PI)
7. Average rate of return (ARR)
8. Wresta et al.

مدل دوره بازگشت سرمایه و میزان صرفه جویی در انتشار دی اکسید کربن در ۴۸ سناریوی مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان داد که زیست توده یک گزینه پایدار و سود آور برای پاسخگویی به نیازهای انرژی است (سانتولی و همکاران، ۲۰۱۵)[1].

در مطالعه دیگری که در کشور آلمان انجام شد توازن انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ژنراتورهای تولید برق با استفاده از محصولات مختلف بیوگاز مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق سناریوهای مختلفی برای مدل بهینه اقتصادی تولید انرژی با استفاده از فناوری بیوگاز در نظر گرفته شده است. ترکیبات مختلفی از مواد تولید کننده بیوگاز (شامل ضایعات کشاورزی، دامی و لبنی) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تعادل انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان زیادی به شرایط تولید منطقه‌ای بستگی دارد و مخلوط کردن چغندر قند با مواد اولیه منجر به کاهش تعادل انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. (آبورگر و همکاران، ۲۰۱۶)[2]

ماتئو و همکاران(۲۰۱۷) پتانسیل تبدیل زباله‌های جامد شهری به بیوگاز را، به‌عنوان منابع انرژی شهری، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تجزیه و تحلیل انرژی نشان داد که چگالی شهری و ویژگی‌های منطقه مورد تجزیه و تحلیل نقش مهمی در ارزیابی فرصت زباله به انرژی دارند. (ماتئو و همکاران، ۲۰۱۷)[3]

۳. استحصال بیوگاز

۳-۱. ترکیبات بایوگاز

بیوگاز به مقدار خیلی جزئی از هوا سبکتر بوده و ارزش حرارتی آن ۰/۸ ارزش حرارتی گاز طبیعی است. دمای احتراق بایوگاز حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد (دمای احتراق گازوئیل ۳۵۰ درجه سانتیگراد و نفت و پروپان ۵۰۰ درجه سانتیگراد) و دمای شعله حاصل از آن ۸۷۰ درجه

1. Santoli et al.
2. Auburger et al.
3. Matteo et al.

سانتیگراد است. بیوگاز مانند سایر سوخت‌های گاز قابل احتراق بوده و با نسبت ۱ به ۲۰ با هوا مخلوط شده و سرعت اشتعال آن بالا است. ارزش حرارتی آن در حدود ۶ کیلووات ساعت بر مترمکعب (۵۲۹۰ $kcal/m^3$) (یعنی برابر ارزش حرارتی نیم لیتر سوخت گازوئیل) می‌باشد. ارزش حرارتی بیوگاز به درصد گاز متان تولید شده بستگی دارد که آن هم با کیفیت مواد آلی وارد شده به تانک تخمیر دستگاه بیوگاز ارتباط مستقیم دارد و هرچه میزان متان تولیدی بیشتر باشد، در نتیجه قابلیت سوخت گاز بیشتر می‌شود. (آکبولوت، ۲۰۱۲)[1]

در جدول ۱ ترکیبات بیوگاز نشان داده شده و در جدول ۲ خواص بیوگاز نسبت به سایر سوخت‌ها مقایسه شده است. (شرکت فنآوری‌های انرژی پاک ، ۲۰۱۷)[2]

جدول ۱. ترکیبات بیوگاز (شرکت فنآوری‌های انرژی پاک، ۲۰۱۷)[3]

نام گاز	فرمول	درصد ترکیب
متان	CH_4	۵۵ تا ۶۵٪
گازکربنیک	CO_2	۳۵ تا ۴۵٪
نیتروژن (ازت)	N_2	۰ تا ۳٪
هیدروژن	H_2	۰ تا ۱٪
اکسیژن	O_2	۰ تا ۱٪
هیدروژن سولفوره	H_2S	۰ تا ۱٪

مأخذ: نتایج تحقیق

1. Akbulut
2. CENERGY
3. CENERGY

جدول ۲. خواص گازهای قابل احتراق به همراه بیوگاز (شرکت فنآوری‌های انرژی پاک، ۲۰۱۷)[1]

گاز	فرمول اجزای اصلی	درصد	ارزش حرارتی kWh/m^3	وزن مخصوص نسبت به هوا $P=1.2kg/m^3$	سرعت انتشار در هوای cm/ s	هوای مورد نیاز m^3
متان	CH_4	۱۰۰	۹/۹۴	۰/۵۵۴	۴۳	۹/۵
پروتان	C_3H_8	۱۰۰	۲۵/۹۶	۱/۵۶۰	۵۷	۲۳/۸
بوتان	C_4H_{10}	۱۰۰	۳۴/۰۲	۲/۰۷۷	۴۵	۳۰/۹
گاز طبیعی	$CH_4;CH_2$	۶۵.۳۵	۷/۵۲	۰/۳۸۴	۶۰	۷
گاز شهری	$N_2,H_2;CH_4$	۵۰،۲۶،۲۴	۴/۰۷	۰/۴۱۱	۸۲	۳/۷
بیوگاز	$CH_4;CO_2$	۶۰،۴۰	۵/۶۹	۰/۹۴	۴۰	۵/۷

مأخذ: نتایج تحقیق

۳-۲. مقدار بیوگاز استحصال شده

یکی از مسائل مبهم در امر احداث پلنت‌های بیوگاز در دنیا و به‌خصوص در کشور ما مسأله میزان دبی گاز قابل استحصال از این گونه پلنت‌ها و مسائل اقتصادی آن از قبیل هزینه اولیه و هزینه‌های عملیاتی است. بر اساس مطالعات صورت گرفته نتایج زیر در مورد دستگاه‌های هاضم کود حیوانی گاو و مقدار بیوگاز استحصال شده برقرار است. در دامداری مورد بررسی تعداد ۳۰۵۵ راس دام شیری موجود می‌باشد که حجم هاضم مورد نیاز برای این تعداد دام برابر با ۴۴۳ متر مکعب می‌باشد. به طور متوسط ۱۵ روز از زمان هضم فضولات حیوانی (به خصوص گاو) باید بگذرد تا بیوگاز قابل استحصال باشد. روزانه حدود ۳۰ متر مکعب فضولات دامی در هاضم پردازش می‌گردد. در بهترین حالت بیوگاز تولیدی روزانه در حدود ۱۷۹۷ متر مکعب(۷۵ متر مکعب بر ساعت) می‌باشد.

1. CENERGY

٤. محدودیت‌ها و روابط اصلی مدل‌سازی سیستم CHP بیوگاز سوز

به‌منظور انتخاب ظرفیت بهینه سیستمCHP با پلنت بیوگاز ضروری است که در ابتدا مقدار تقاضای انرژی‌های حرارتی و الکتریکی در دامداری تعیین شده و با توجه به حداکثر مقدار انرژی حرارتی و الکتریکی در یک سال نمونه و همچنین با در نظر گرفتن پیگرد حرارتی ظرفیت بهینه سیستمCHP و همچنین ظرفیت تانک ذخیره حرارتی تعیین گردد. بسته به نیاز، سیستم CHP ممکن است با روش‌های عملکردی متفاوتی کار کند. روش‌های عملکردی مختلف ممکن است با استفاده از یک سیستم مدیریت انرژی، که بهترین روش عملکردی را برای نیازهای خاص انتخاب می‌کند، اجرا شود. متغیرکنترل برای عملکرد سیستم در روش عملکردی پیگرد حرارتی اغلب تقاضای حرارت می‌باشد سیستم در درجه اول تقاضای حرارتی را در تمام زمان‌ها تأمین می‌کند و برق یک محصول جانبی است. برق تولید شده برای استفاده در محل و یا در صورت تولید مازادجهت تغذیه به شبکه برق استفاده می‌شود. کمبود برق نیز توسط خرید برق از شبکه جبران می‌گردد. در صورتی‌که حرارت تولیدی دستگاه بیشتر از مصرف باشد این حرارت در یک منبع ذخیره حرارتی ذخیره شده و در زمان نیاز از آن استفاده می‌گردد. در روش عملکرد پیگرد الکتریکی تقاضای برق متغیر کنترلی برای توان خروجی از سیستم CHP است. در این حالت سیستم باید تقاضای الکتریکی مصرف‌کننده را به تنهایی تامین نماید. اتصال سیستم به شبکه برای انتقال قسمتی از برق تولیدی به شبکه در ساعاتی که تمامی برق تولیدی مصرف نمی‌گردد، ضروری است. همچنین یک بویلر کمکی نیز در نظر گرفته می‌شود تا در شرایطی که حرارت تولید شده توسط سیستم CHP کمتر از بار حرارتی است، حرارت مورد نیاز را تأمین نماید.

در این مقاله از روش پیگرد حرارتی جهت مدل‌سازی و امکان سنجی استفاده ازسیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز از فضولات دام، استفاده شده است. بدین منظور ابتدا میانگین تقاضای انرژی‌های حرارتی و الکتریکی به‌صورت ماهانه در دامداری نمونه تعیین گردیده است که نمودار آن نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به حداکثر بار حرارتی در یک سال نمونه ظرفیت‌های حرارتی و الکتریکی نامی سیستم با استفاده از معادلات ۱ و ۲ تعیین گشته است.

$$H_r^{CHP} = \frac{Q_{\max}}{\eta_{th}^{CHP}} \quad (۱)$$

$$C_r^{CHP} = \frac{H_r^{CHP} \times \eta_e^{CHP}}{\eta_{th}^{CHP}} \quad (۲)$$

در روابط بالا H_r^{CHP} ظرفیت حرارتی نامی، $Q_{\max}$ حداکثر مقدار تقاضای حرارتی دامداری در یک سال نمونه، C_r^{CHP} ظرفیت الکتریکی نامی، η_{th}^{CHP} راندمان حرارتی و η_e^{CHP} راندمان الکتریکی CHP می‌باشد.

با استفاده از ظرفیت‌های حرارتی و الکتریکی نامی میزان انرژی‌های الکتریکی و حرارتی تولیدی توسط سیستم به‌صورت ماهانه یا سالانه با استفاده از معادلات ۳ و ۴ با توجه به ساعت عملکرد تعیین گردیده است. در این روابط فرض شده که دستگاه در تمام اوقات در بار کامل کار کند. لازم به ذکر است که عملکرد در بار کامل سبب افزایش راندمان دستگاه و بهره‌وری بیشتر از انرژی ورودی می‌گردد. دراین محاسبات میزان ساعت کارکرد دستگاه CHP ۸۶۴۰ ساعت درسال (۷۲۰ ساعت ماهانه) در نظرگرفته شده است.

$$E_{total}^{CHP} = C_r^{CHP} \times h \quad (۳)$$

$$H_{total}^{CHP} = H_r^{CHP} \times h \quad (۴)$$

در روابط بالا h ساعت کارکرد، E_{total}^{CHP} مقدار انرژی الکتریکی تولیدی توسط CHP و H_{total}^{CHP} مقدار حرارت تولیدی می‌باشد.

در صورتی‌که انرژی الکتریکی تولیدی از میزان مصرف دامداری بیشتر باشد مازاد آن به شبکه برق فروخته می‌شود (رابطه ۵) و کمبود برق نیز از شبکه توسط رابطه ۶ تأمین می‌گردد. درصورتی که حرارت تولیدی از مقدار نیاز بیشتر باشد در یک تانک ذخیره حرارتی ذخیره

می‌گردد مقدار این حرارت ذخیره شده در تانک توسط رابطه ۷ محاسبه می‌شود. محاسبه مقدار حرارت ذخیره شده در تانک جهت تعیین ظرفیت تانک ذخیره ضروری است.

$$E_{sell} = EA - E_{total}^{CHP} \quad (۵)$$

$$E_{buy} = E_{total}^{CHP} - EA \quad (۶)$$

$$H_{save} = H_{total}^{CHP} - HA \quad (۷)$$

در روابط بالا E_{sell} مقدار برق فروخته شده به شبکه، EA بار الکتریکی گاوداری، E_{buy} برق خریداری شده از شبکه، H_{save} مقدار حرارت ذخیره شده در تانک ذخیره و HA بار حرارتی مورد نیاز دامداری می‌باشد.

در صورتی که انرژی به‌دست آمده از بیوگاز تولیدی نتواند تمام نیازهای دامداری را تأمین نماید به‌ناچار می‌بایست از سوخت دیگری جهت تأمین بارهای حرارتی و الکتریکی استفاده نمود. از آن‌جایی‌که در اکثر دامداری‌های ایران از گازوئیل به‌عنوان سوخت ورودی استفاده می‌شود در این مقاله نیز از گازوئیل به‌عنوان سوخت جایگزین بیوگاز استفاده شده است. رابطه۸ انرژی ورودی مورد نیاز را جهت تأمین بارهای حرارتی نشان می‌دهد.

$$En_{in} = \frac{H_{total}^{CHP}}{\eta_{th}^{CHP}} \quad (۸)$$

که در رابطه بالا En_{in} مقدار انرژی ورودی مورد نیاز در یک ماه از سال می‌باشد.

مقدار انرژی ماهانه تولید شده توسط بیوگاز استحصال شده از فضولات دامی توسط رابطه ۹ به‌دست می‌آید.

$$En_{BG} = BG \times HR_{BG} \quad (۹)$$

که در رابطه بالا HR_{BG} ارزش حرارتی بیوگاز(kWh/m^3) و BG مقدار بیوگاز(m^3) استحصال شده از فضولات دامی در ماه می‌باشد.

مقدار انرژی حرارتی‌که می‌بایست توسط گازوئیل تأمین گردد از رابطه ۱۰، و مقدار گازوئیل مورد نیاز نیز از رابطه ۱۱ محاسبه می‌گردد.

$$En_o = En_{in} - En_{BG} \qquad (۱۰)$$

$$Fuel = \frac{En_o}{HR_{GS}} \qquad (۱۱)$$

در روابط بالا En_o مقدار انرژی تولیدی توسط گازوئیل، HR_{GS} ارزش حرارتی گازوئیل و $Fuel$ مقدار گازوئیل مورد نیاز در هر ماه می‌باشد.

۵. تحلیل مالی

اقتصاد یک عامل مهم و قطعی در گسترش استفاده از سیستم‌های نوین تولید انرژی می‌باشد. همان‌طورکه می‌دانیم، سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت با پلنت استحصال بیوگاز معمولاً هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر و هزینه‌های اجرایی کمتری در مقایسه با سیستم‌های تأمین انرژی معمول، که برق را از شبکه و بارگرمایشی را توسط یک بویلرتامین می‌کنند، دارند. بنابراین در ارزیابی‌های اقتصادی، یک شاخص مهم، نسبت صرفه جویی هزینه[1]، می‌باشد. این شاخص، سوددهی سیستم را بیان می‌کند و به‌صورت نسبت تفاوت بین هزینه‌های انرژی سیستم‌های معمول و سیستم CHP به هزینه انرژی سالانه سیستم‌های معمول بیان می‌شود، همان‌طوری که در معادله(۱۲) نشان داده شده است.

1. Cost Saving Ratio (CSR)

$$CSR = (\frac{C_{CON} - C_{BGCHP}}{C_{CON}}) \times 100 \quad (۱۲)$$

که در آن CSR نسبت صرفه‌جویی در هزینه (سوددهی سیستم)، C_{CON} مجموع هزینه‌های انرژی سالانه از سیستم‌های معمول و C_{BGCHP} مجموع هزینه‌های انرژی سالانه از سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز می‌باشد.

هزینه‌های انرژی سیستم‌های معمول و سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز نیز از طریق روابط ۱۳ و ۱۴ محاسبه می‌شوند.

$$C_{CON} = (C_{CON}^{Inv} \times \frac{I}{1 - (\frac{1}{(1+I)^{T_{CON}}})}) + C_{CON}^{Maint} + C_{CON}^{Ele} + C_{CON}^{Gasl} \quad (۱۳)$$

$$C_{BGCHP} = (C_{BGCHP}^{Inv} \times \frac{I}{1 - (\frac{1}{(1+I)^{T_{BGCHP}}})}) + C_{BGCHP}^{Maunt} + C_{BGCHP}^{Ele} + C_{BGCHP}^{Gasl} - C_{BGCHP}^{Elesell} \quad (۱۴)$$

که در آن I نرخ بهره (تنزیل)[۱]، C_{CON}^{Inv} هزینه سرمایه گذاری سیستم‌های معمول شامل هزینه‌های مربوط به خرید انشعاب برق و تجهیزات گرمایشی، C_{CON}^{Maint} هزینه تعمیرنگهداری سالانه سیستم‌های معمول، C_{CON}^{Ele} هزینه سالانه خرید برق ازشبکه در سیستم‌های معمول، C_{CON}^{Gasl} هزینه سالانه خریدگازوئیل در سیستم‌های معمول، C_{BGCHP}^{Inv} هزینه سرمایه‌گذاری

۱. نرخ تنزیل(I) می‌تواند مساوی با نرخ بهره وام‌های بلند مدت در بازار سرمایه باشد و یا مساوی بهره پرداختی (نرخ هزینه سرمایه) توسط وام گیرندگان باشد. اساساً نرخ تنزیل هزینه فرصت سرمایه را منعکس می‌سازد که نشانگر نرخی است که اگر سرمایه‌گذاران و یا اعتبار دهندگان، وجوه خود را (مساوی همان وجوه) در جایی دیگر از بازار سرمایه، سرمایه گذاری می‌کردند، بدست می‌آوردند، البته با این فرض که ریسک سرمایه‌گذاری در هر دو مورد یکسان بوده باشد. به عبارت دیگر، نرخ تنزیل از دیدگاه موسسین یک پروژه یا سرمایه‌گذاران آن، حداقل بازده‌ای است که از یک پروژه انتظار دارند و کمتر از آن را نمی‌پذیرند. نرخ بهره سالانه شامل حاصل‌ضرب نرخ تورم سالانه، نرخ سود و نرخ ریسک می‌باشد. بر طبق اعلام بانک مرکزی در سال ۱۳۹۵ نرخ تورم ۸/۵۷ درصد و نرخ سود ۱۸/۳ درصد بوده و نرخ ریسک ۰/۰۶۴ درصد فرض شده است (بانک مرکزی جمهوری اسلامی، ۱۳۹۵).

سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز به همراه یک تانک ذخیره حرارت(شامل هزینه خرید دستگاه و تجهیزات جانبی برای نصب سیستم) می‌باشد، C_{BGCHP}^{Maunt} هزینه تعمیر نگهداری سالانه سیستم CHP باپلنت استحصال بیوگاز و تانک ذخیره حرارت، C_{BGCHP}^{Ele} هزینه سالانه خرید برق از شبکه برای سیستم CHP، C_{BGCHP}^{Gasl} هزینه سالانه خرید گازوئیل برای سیستم CHP و $C_{BGCHP}^{Elesell}$ منفعت سالانه فروش برق به شبکه، T_{BGCHP} دوره عمر CHP با پلنت استحصال بیوگاز و T_{CON} دوره کارکرد سیستم قدیمی می‌باشد.

اما چون معمولاً این هزینه‌ها یکبار درطول دوره عمر سیستم پرداخت می‌شوند و هدف تعیین درصد سوددهی سالانه می‌باشد با استفاده از نرخ تنزیل مناسب این هزینه‌ها به هزینه ثابت سالانه برای تمام دوره کارکرد تبدیل شده است. همچنین چون فروش برق به شبکه منفعت اقتصادی به دنبال دارد، به‌صورت یک هزینه منفی در تابع هزینه منظور شده است. هزینه خرید برق از شبکه و همچنین هزینه سوخت مصرفی سالانه قبل از جایگزینی با سیستم CHP همان‌گونه که در روابط ۱۵ و ۱۶مشاهده می‌شود، به‌صورت مجموع نیاز برق و گازوئیل ضرب در نرخ تعرفه‌های انرژی محاسبه می‌شوند.

$$C_{CON}^{Ele} = \sum_{i=1}^{12} (EA \times P_{ele}) \qquad (۱۵)$$

$$C_{CON}^{Gasl} = \sum_{i=1}^{12} (Gasoline \times P_{Gasl}) \qquad (۱۶)$$

EA نیازالکتریسیته دامداری، P_{ele} قیمت خرید برق از شبکه، $Gasoli$ مقدار ماهانه گازوئیل مورد نیاز و P_{Gasl} قیمت خرید گازوئیل می‌باشد.

هزینه سوخت مصرفی سیستم CHP نیز به‌صورت مقدار گازوئیل اضافی خریداری شده ضرب در قیمت خرید گازوئیل به‌صورت رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود.

$$C_{BGCHP}^{Gasl} = \sum_{i=1}^{12} (Fuel \times P_{Gasl}) \qquad (۱۷)$$

هزینه برق خریداری شده از شبکه به‌صورت مقدار برق خریداری شده از شبکه ضرب‌در قیمت خرید برق و منفعت حاصل از فروش برق نیز به‌صورت مقدار برق فروخته شده به شبکه ضرب‌در قیمت فروش برق محاسبه می‌گردد. همان‌گونه که در معادلات ۱۸ و ۱۹ نشان داده شده است.

$$C_{BGCHP}^{Ele} = \sum_{i=1}^{12} (E_{buy} \times P_{ele}) \quad (۱۸)$$

$$C_{BGCHP}^{Elesell} = \sum_{i=1}^{12} (E_{sell} \times P_{elesell}) \quad (۱۹)$$

که در روابط بالا $P_{elesell}$ قیمت فروش برق به شبکه می‌باشد.

مقدار هزینه صرفه‌جویی شده سالانه برابر است با اختلاف هزینه‌های انرژی سیستم‌های معمول و هزینه‌های انرژی سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز که در رابطه ۲۰ نشان داده شده است.

$$C_{Save} = (C_{CON}^{Ele} + C_{CON}^{Gasl} - (C_{BGCHP}^{Ele} + C_{BGCHP}^{Gasl} - C_{BGCHP}^{Elesell})) \quad (۲۰)$$

در نهایت دوره بازگشت سرمایه برابر است با نسبت هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز به هزینه صرفه‌جویی شده سالانه که در رابطه ۲۱ نشان داده شده است.

$$Payback = (\frac{C_{BGCHP}^{Inv}}{C_{Save}}) \quad (۲۱)$$

که در آن C_{Save} هزینه صرفه‌جویی شده سالانه و $Payback$ دوره بازگشت سرمایه (سال) می‌باشد.

۵-۱. مشخصات دامداری و تعیین بارهای الکتریکی و حرارتی

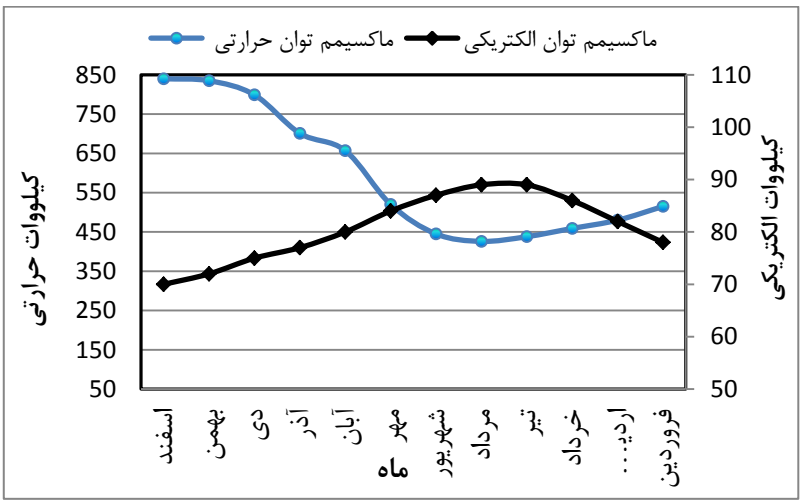
دامداری مورد نظر یک دامداری با ۳۰۵۵ راس دام شیری به مساحت کل ۳۵۰۰۰ متر مربع با ۲۰۰۰۰ متر مربع سالن فری استال و ۱۵۰۰۰متر مربع سالن بهار بند می‌باشد. در این دامداری جهت تأمین حرارت مورد نیاز از سوخت گازوئیل و جهت تأمین بارهای الکتریکی نیز از برق شبکه استفاده می‌شود. انرژی‌های حرارتی و الکتریکی مورد نیاز ماهانه در جدول ۳ و حداکثر توان الکتریکی و حرارتی مورد نیاز ماهانه نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. در صورتی که در این دامداری از یک سیستم CHP باپلنت استحصال بیوگاز استفاده گردد، در واحد بیوگاز CHP نیز مقداری انرژی به‌صورت برق و حرارت استفاده می‌گردد که در جدول ۴ توان مصرفی برق و حرارت به ترتیب ۱۴/۶ و ۲۴/۹ کیلووات آورده شده است. لازم به ذکر است که در ارزیابی‌های فنی اقتصادی سیستم CHP باپلنت استحصال بیوگاز مجموع بارهای حرارتی و الکتریکی مصرفی در دامداری و واحد بیوگاز CHP مبنای محاسبات قرار خواهد گرفت.

داده‌های مورد نیاز جهت مدل سازی و طراحی نیروگاه CHP بیوگاز سوز به‌صورت خلاصه درجدول ۴ آورده شده است.

جدول۳. متوسط مصرف گازوئیل، انرژی‌های الکتریکی و حرارتی مورد نیاز ماهانه

ماه	متوسط مصرف گازوئیل (لیتر)	متوسط برق مورد نیاز ماهانه(کیلووات ساعت)	متوسط حرارت مورد نیاز ماهانه(کیلووات ساعت)	متوسط نسبت حرارت به برق
فروردین	۳۳۹۵۳	۵۵۰۵۶	۳۷۳۴۸۸	۶/۷۸
اردیبهشت	۳۱۹۹۲	۵۸۰۳۲	۳۵۱۹۱۲	۶/۰۶
خرداد	۳۰۰۹۸	۶۱۷۵۲	۳۳۱۰۸۰	۵/۳۶
تیر	۲۷۹۳۳	۶۴۷۲۸	۳۰۷۲۷۲	۴/۴۷
مرداد	۲۷۵۲۸	۶۸۴۴۸	۳۰۲۸۰۸	۴/۴۲
شهریور	۲۸۰۶۹	۶۶۹۶۰	۳۰۸۷۶۰	۴/۶۱
مهر	۳۲۷۲۷	۵۶۱۶۰	۳۶۰۰۰۰	۶/۴۱
آبان	۴۱۰۴۰	۵۴۰۰۰	۴۵۱۴۴۰	۸/۳۶
آذر	۴۵۲۲۹	۵۱۱۲۰	۴۹۷۵۲۰	۹/۷۳
دی	۴۸۳۷۰	۴۶۰۸۰	۵۳۲۰۸۰	۱۱/۵۴
بهمن	۵۱۶۴۳	۴۱۷۶۰	۵۶۸۰۸۰	۱۳/۶
اسفند	۵۰۸۷۱	۳۶۸۸۸	۵۵۹۵۸۴	۱۵/۱۶

مأخذ: نتایج تحقیق



شکل ۲. نمودار حداکثر توان الکتریکی و حرارتی ماهانه مورد نیاز در دامداری به تفکیک

جدول ۴. داده‌های مورد نیاز برای مدل سازی. (شرکت توانیر،۲۰۱۶)[1]، (بائر و همکاران، ۲۰۱۲)[2] (شرکت ملی گاز ایران، ۲۰۱۶)[3]، (کلیک صنعت، ۲۰۱۶)[4]

مورد	داده مفروض	مقادیر
سیستم و تجهیزات CHP با پلنت بیوگاز و تانک ذخیره حرارت	هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون ریال بر کیلووات الکتریک)	(۱۰-۶)
	هزینه تعمیر نگه‌داری سالانه (ریال برکیلووات ساعت)	۱۵۰-۷۰
	متوسط راندمان الکتریکی(درصد)	۲۵-۲۰
	متوسط راندمان حرارتی(درصد)	۶۵-۶۰
	متوسط طول عمرCHP سال	۲۰
هزینه انشعاب برق، تجهیزات گرمایشی و تعمیر نگه‌داری سالانه	هزینه انشعاب برق(میلیون ریال)	۱۳۰
	متوسط هزینه اولیه بویلر(دیگ، مشعل، هزینه تجهیزات جانبی و...) (میلیون ریال برکیلووات گرمایشی)	۰/۱۹
	متوسط طول عمره بویلر (سال)	۲۰ سال

1. Tavanir Company
2. Bauer et al.
3. National Iranian Gas Company, NIGC
4. CLICKSANAT, Production Group of Click Sanat

مورد	داده مفروض	مقادیر
	متوسط راندمان بویلر (درصد)	۷۰
	هزینه تعمیر نگهداری سالانه سیستم‌های معمول(میلیون ریال)	۵۰
دستگاه هاضم بیوگاز	تعداد راس گاو شیرده	۳۰۵۵
	حجم هاضم مورد نیاز (متر مکعب)	۴۴۳
	میزان بیوگاز استحصال شده از دستگاه هاضم نصب شده(متر مکعب در ساعت)	۷۵
	هزینه سرمایه گذاری بریک متر مکعب حجم هاضم(میلیون ریال بر متر مکعب)	۳-۵
	هزینه تعمیر نگه داری سالانه (میلیون ریال)	۳۶۰
قیمت و مشخصات حامل‌های انرژی	متوسط قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۶۰۰
	قیمت فروش برق به شبکه(ریال برکیلووات ساعت)	۱۲۳۰
	قیمت خرید گازوئیل(ریال بر لیتر)	۳۵۰۰
	ارزش حرارتی گازوئیل (KWh/liter)	۱۱
سایر داده‌ها	نرخ تنزیل	٪۱۰

داده‌ها مربوط به سال۱۳۹۵ می‌باشد. ۱ دلار = ۳۲۰۰۰ ریال

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۵. فهرست مصرف‌کنندگان و توان مصرفی آنان در واحد تولید بیوگاز

مصرف کنندگان	توان(kW)
همزن‌ها	۱۳/۵
پمپ	۰/۶
کمپرسور هوا	۰/۵
توان کل برق مصرفی	**۱۴/۶**
حرارت برای گرم کردن خوراک	۱۶
اتلاف حرارت از طریق دیوار بیو راکتور	۸/۹
توان کل حرارت مصرفی	**۲۴.۹**

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۲. نتایج شبیه سازی

با استفاده از مدل توسعه داده شده و داده‌های به‌دست آمده از دامداری مورد نظر، مشخص گردید که با استفاده از ۵۳۹۱۰ مترمکعب بیوگاز تولیدی ماهانه، می‌توان یک سیستم CHP ۳۵۰ کیلوواتی

با موتور احتراقی تراکمی (CI) دوگانه سوز را به‌صورت پیوسته و شبانه روزی بـه حرکـت در آورد. مقدار صرفه‌جویی سالانه در هزینه‌های انرژی ۱۱۴۲/۲ میلیون ریال و درصـد سـوددهی سیسـتم ۳۴٪ تعیین گردید، که از نظر ملی و اقتصادی قابل توجیه می‌باشـد و دوره بازگشـت سـرمایه آن۳/۷ سـال بدون در نظر گرفتن مقدار کـاهش گازهـای گلخانـه‌ای مـی‌باشـد. مقـدار انـرژی‌هـای الکتریکـی و حرارتی تولیـدی ماهانـه، مقـدار بـرق فروختـه شـده یـا خریـداری شـده از شـبکه، مقـدار گازوئیـل خریداری شده و میزان صرفه‌جویی حاصله در جدول۶ نشان داده‌شده است.

جدول ۶. انرژی‌های الکتریکی و حرارتی تولیدی ماهانه، مقدار برق فروخته یا خریداری شده از شبکه، مقدار گازوئیل خریداری شده و میزان صرفه‌جویی ماهانه

ماه	صرفه جویی ماهانه (میلیون ریال)	حرارت ذخیره شده (کیلووات ساعت)	برق تولیدی (کیلووات ساعت)	حرارت تولیدی (کیلووات ساعت)	برق فروخته شده به شبکه (کیلووات ساعت)	گازوئیل خریداری شده (لیتر)
فروردین	۸۲/۹۲۷	۴۹۳۸۰۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۸۷۱۷۰	۸۵۴۷۴
اردیبهشت	۷۴/۱۸۷	۵۱۵۳۸۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۸۴۱۹۰	۸۵۴۷۴
خرداد	۶۵/۲۱۵	۵۳۶۲۱۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۸۰۴۷۰	۸۵۴۷۴
تیر	۵۵/۹۷۵	۵۶۰۰۲۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۷۷۴۹۰	۸۵۴۷۴
مرداد	۵۲/۰۰۱	۵۶۴۴۸۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۷۳۷۷۰	۸۵۴۷۴
شهریور	۵۴/۸۳۲	۵۵۸۵۳۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۷۵۲۶۰	۸۵۴۷۴
مهر	۷۷/۹۴	۵۰۷۲۹۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۸۶۰۶۰	۸۵۴۷۴
آبان	۱۰۸/۴	۴۱۵۸۵۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۸۸۲۲۰	۸۵۴۷۴
آذر	۱۲۴/۸۷	۳۶۹۷۷۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۹۱۱۰۰	۸۵۴۷۴
دی	۱۳۹/۰۴	۳۳۵۲۱۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۱۹۶۱۴۰	۸۵۴۷۴
بهمن	۱۵۳/۲۲	۲۹۹۲۰۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۲۰۰۴۶۰	۸۵۴۷۴
اسفند	۱۵۳/۵۹	۳۰۷۷۱۰	۲۵۲۷۳۰	۸۸۴۵۷۰	۲۰۵۵۳۰	۸۵۴۷۴

مأخذ: نتایج تحقیق

همان‌طوری که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد سیستم در تمام ماه‌های سال انرژی حرارتی و الکتریکی مورد نیاز دامداری و واحد تولید بیوگاز را تأمین کرده و در هر ماه مقداری برق اضافی نیز تولید می‌شود که به شبکه فروخته شده و موجب افزایش سوددهی سیستم می‌گردد. از آن‌جایی که برق خریداری شده از شبکه در تمام ماه‌های سال صفر است سیستم می‌تواند به‌صورت یک سیستم مستقل از شبکه عمل کند. در این مدل‌سازی فرض شده است که سیستم CHP در تمام مدت عملکرد، بر مبنای ظرفیت نامی کار کند و مقدار بیوگاز تولیدی ماهانه نیز ثابت در نظر گرفته شده است، بنابراین مقدار انرژی الکتریکی و حرارتی تولیدی در هر ماه یکسان، و به‌ترتیب برابر با ۲۵۲۷۳۰ و ۸۸۴۵۷۰ کیلووات ساعت محاسبه گردیده است.

اندازه تانک ذخیره بر توجیه‌پذیری اقتصادی سیستمCHP تاثیرگذاراست. یک تانک ذخیره بزرگ، ذخیره‌سازی بیشتری را امکان‌پذیر می‌سازد. درحالی‌که یک تانک ذخیره کوچک‌تر تلفات حرارتی کمتری دارد، لذا تعیین اندازه بهینه تانک ذخیره امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است از این رو مقدار انرژی حرارتی ذخیره شده در هر ماه محاسبه شده و با استفاده از حداکثر مقدار انرژی حرارتی ذخیره شده در یک سال نمونه، ظرفیت تانک ذخیره حرارتی ۷۶۰ کیلووات تعیین گردیده است.

از آنجایی که مقدار ۵۳۹۱۰ متر مکعب بیوگاز تولیدی ماهانه نمی‌تواند تمام انرژی ورودی مورد نیاز جهت تأمین بارهای الکتریکی و حرارتی را تأمین نماید، می‌بایست بخشی از این انرژی از منبع دیگری تأمین گردد. به‌دلیل این‌که در اغلب دامداری‌های ایران از سوخت گازوئیل استفاده می‌شود در این مقاله نیز گازوئیل به‌عنوان سوخت دوم در نظر گرفته شده‌است که طبق محاسبات انجام شده مشخص گردید که می‌بایست ماهیانه مقدار ۸۵۴۷۴ لیتر گازوئیل خریداری شده و جهت تأمین سوخت به‌کار رود.

٦. تحلیل حساسیت

با استفاده از تحلیل حساسیت می‌توان تأثیر عناصر کلیدی را در تصمیم‌گیری، جهت پذیرش سیستم CHP باپلنت استحصال بیوگاز بررسی نمود. قیمت گازوئیل و برق و همچنین نرخ ارز

عوامل مهمی می‌باشند که فواید اقتصادی نصب سیستم CHP را نشان می‌دهند. در این مقاله تحلیل حساسیت‌هایی بر قیمت گازوئیل، قیمت برق و همچنین قیمت فرش برق به شبکه انجام گرفته است. تغییرات شاخص سوددهی و دوره بازگشت سرمایه در برابر تغییر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم CHP در تمام تحلیل حساسیت‌های انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است.

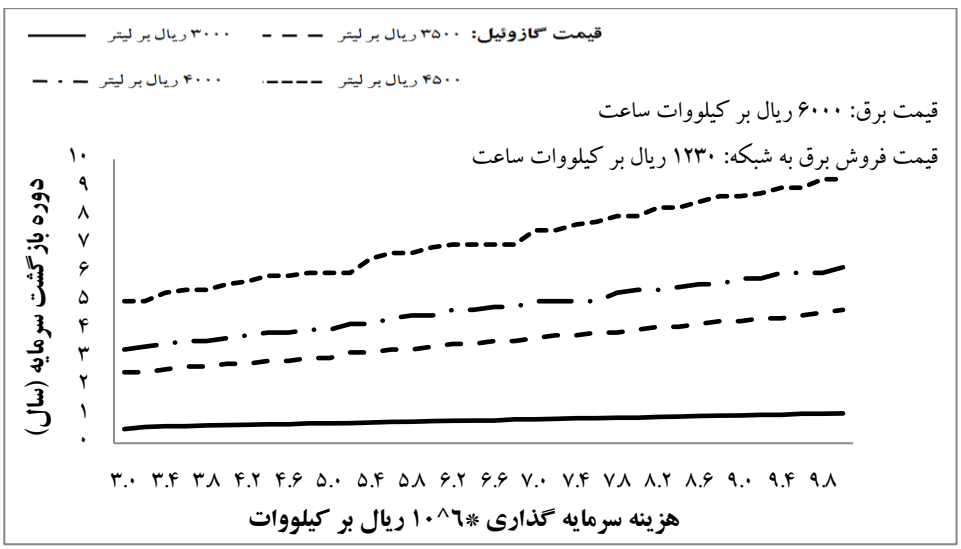
٦-١. تحلیل حساسیت قیمت گازوئیل

در این بخش حساسیت شاخص سوددهی و دوره بازگشت سرمایه با تغییرات قیمت گازوئیل و هزینه سرمایه‌گذاری بررسی شده است. در این تحلیل قیمت برق ۶۰۰ ریال بر کیلووات ساعت و قیمت فروش برق به شبکه ۱۲۳۰ ریال بر کیلووات ساعت ثابت در نظر گرفته شده است. شکل ۴ تغییرات شاخص سوددهی سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز را با تغییر قیمت گازوئیل در دامداری مورد نظر نشان می‌دهد.

شکل۴. تحلیل حساسیت قیمت گازوئیل و هزینه اولیه خرید سیستم CHP

همان گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است در سناریوی قیمت گازوئیل برابر با ۴۵۰۰ ریال بر لیتراستفاده از این سیستم برای حالاتی که هزینه سرمایه‌گذاری کمتر از ۸/۶ میلیون ریال بر کیلووات باشد، اقتصادی خواهد بود. با کاهش قیمت گازوئیل درصد سوددهی سیستم افزایش می‌یابد و استفاده از سیستم CHP در قیمت‌های اولیه بالاتر نیز اقتصادی خواهد بود برای مثال همان‌گونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود در قیمت گازوئیل ۳۰۰۰ ریال بر لیتر استفاده از سیستم برای قیمت سرمایه‌گذاری اولیه ۱۰ میلیون ریال بر کیلووات نیز اقتصادی بوده و درصد سوددهی آن در حدود ۹۰ درصد می‌باشد.

شکل (۴) همچنین نشان می‌دهد که ماکسیمم مقدار هزینه سرمایه‌گذاری محاسبه شده برای عملکرد اقتصادی سیستم با قیمت گازوئیل بالاتر، کمتر است. این تحلیل نشان می‌دهد که کاهش قیمت گازوئیل یک روش کارآمد برای گسترش استفاده از سیستم‌های CHP است. بنابراین در صورتی که قیمت گازوئیل برای این سیستم‌ها کاهش یابد، از محدوده وسیع‌تری از این محصولات که دارای قیمت‌های اولیه بالاتری باشند می‌توان استفاده نمود. شکل ۵ نیز تغیرات دوره بازگشت سرمایه را در برابر تغییرات قیمت گازوئیل نشان می‌دهد.

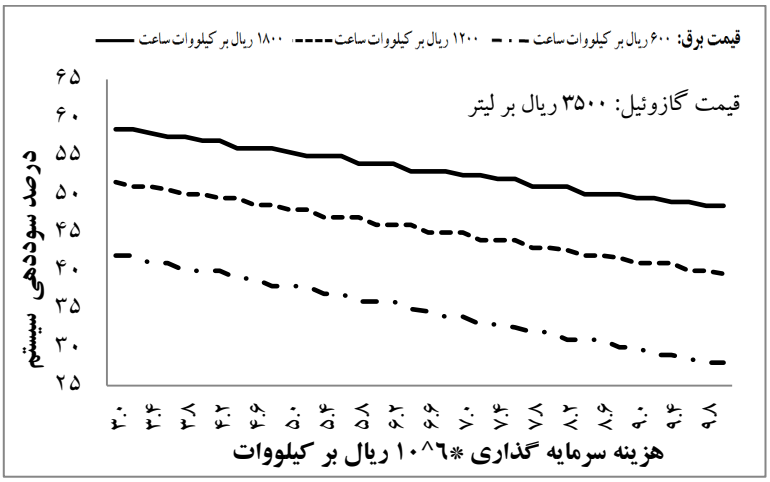


شکل۵. تحلیل حساسیت قیمت گازوئیل و دوره بازگشت سرمایه

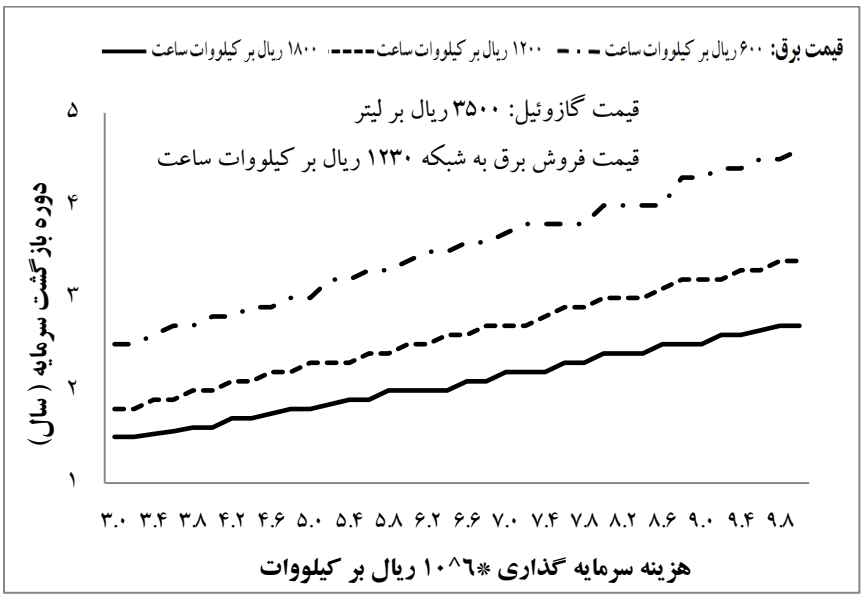
همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود افزایش قیمت گازوئیل دوره بازگشت سرمایه را نیز افزایش داده و در هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر از توجیه‌پذیری این سیستم‌ها می‌کاهد. برای مثال هنگامی که قیمت گازوئیل ۳۰۰۰ ریال بر لیتر باشد استفاده از سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز حتی برای حالاتی که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر از ۱۰ میلیون ریال بر کیلووات باشد نیز اقتصادی بوده و دوره بازگشت سرمایه آن کمتر از ۲ سال است. در حالی‌که با قیمت گازوئیل ۴۵۰۰ ریال بر لیتر با همان هزینه سرمایه‌گذاری اولیه دوره بازگشت بالاتر از ۹ سال می‌باشد

٦-۲. تحلیل حساسیت قیمت برق

یکی دیگر ازمولفه‌های مهم تاثیرگذار بر هزینه نهایی سیستم، قیمت خرید برق ازشبکه است. این عامل نیز اثر مهمی بر پذیرش سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت دارد. بدین علت‌که اگر قیمت برق نسبتاً پایین باشد، مصرف‌کننده ترجیح می‌دهد به‌جای این‌که برق را در محل مصرف تولید کند، آن را از شبکه خریداری نماید. شکل ۶ نتایج امکان‌سنجی اقتصادی سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز را با تغییرات قیمت برق نشان می‌دهد. شکل ۷ نیز تغییرات دوره بازگشت سرمایه را در برابر تغییرات قیمت برق نشان می‌دهد. در این بخش قیمت گازوئیل در مقدار ۳۵۰۰ ریال بر لیتر ثابت نگه داشته شده و قیمت فروش برق به شبکه نیز ۱۲۳۰ ریال بر کیلووات ساعت می‌باشد.



شکل۶. تحلیل حساسیت قیمت برق و هزینه اولیه خرید سیستم CHP

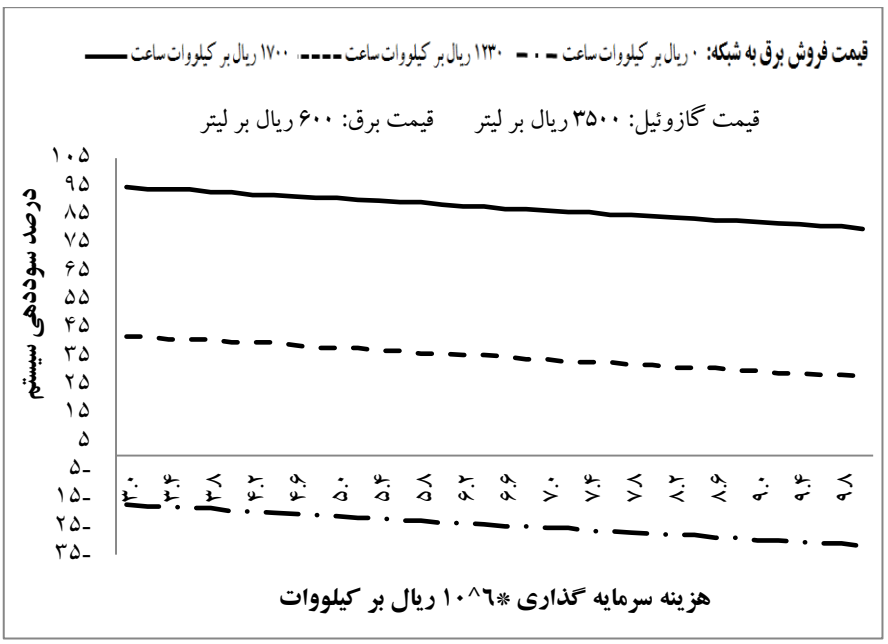


شکل۷. تحلیل حساسیت قیمت برق و دوره بازگشت سرمایه

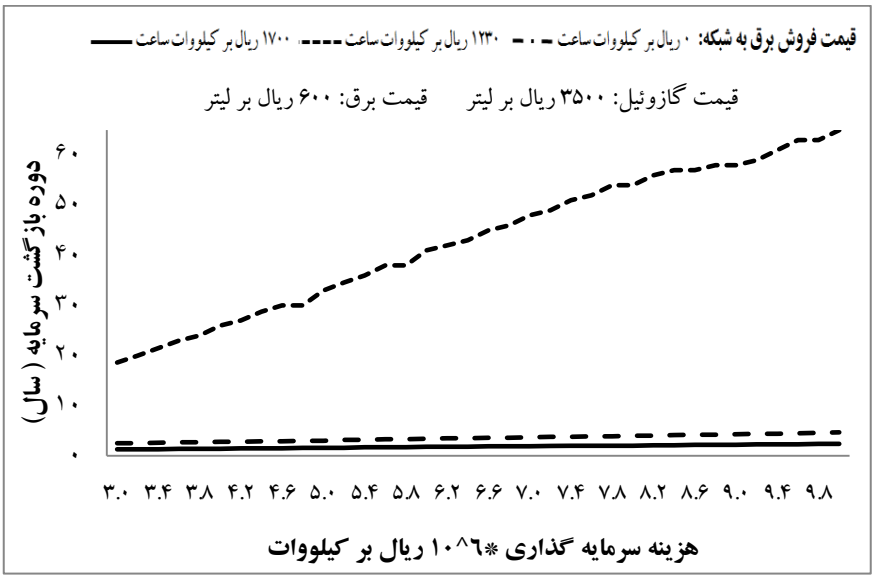
از شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان دریافت که با یک هزینه سرمایه‌گذاری مشخص منفعت نصب سیستمCHP با افزایش قیمت برق افزایش می‌یابد. از طرف دیگر زمانی‌که هزینه سرمایه‌گذاری سیستم با یک قیمت برق معین پایین‌تر باشد، دوره بازگشت سرمایه نیز کوتاهتر خواهد بود. برای مثال زمانی‌که قیمت برق ۶۰۰ ریال بر کیلووات ساعت است، با هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر از ۱۰ میلیون ریال بر کیلووات منفعت اقتصادی سیستم بسیار کم بوده و استفاده از این سیستم‌ها توجیه‌پذیری اقتصادی نخواهد داشت. به هر حال، با یک قیمت برق ۱۸۰۰ ریال بر کیلووات ساعت ماکسیمم دوره بازگشت سرمایه در هزینه اولیه ۱۰ میلیون ریال بر کیلووات کمتر از ۳ سال بوده که بسیار مطلوب است.

٦-۳. تحلیل حساسیت قیمت فروش برق به شبکه

یک سیاست محرک برای نفوذ و گسترش سیستم‌های CHP با پلنت استحصال بیوگاز فروش برق به شبکه می‌باشد که در بسیاری از کشورها امکان پذیراست. شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب درصد سوددهی و دوره بازگشت سرمایه سیستم CHP را برای قیمت‌های فروش برق به شبکه ۰ و ۱۲۳۰ و ۱۷۰۰ ریال بر کیلووات ساعت نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که قیمت خرید برق از شبکه ۶۰۰ ریال بر کیلووات ساعت و قیمت گازوئیل ۳۵۰۰ ریال بر لیتر می‌باشد.



شکل ۸. تحلیل حساسیت قیمت فروش برق به شبکه و هزینه اولیه خرید سیستم CHP



شکل ۹. تحلیل حساسیت قیمت فروش برق به شبکه و دوره بازگشت سرمایه

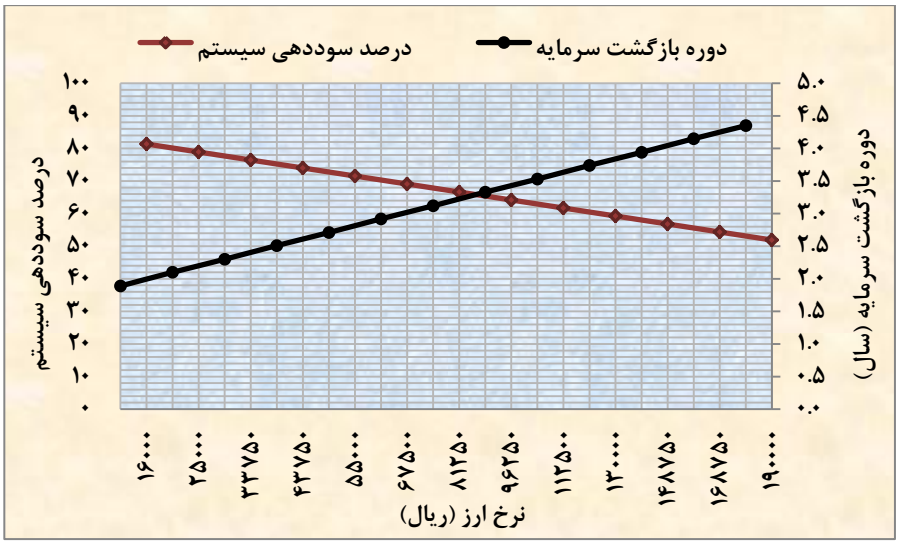
برای یک هزینه سرمایه‌گذاری ثابت، با افزایش قیمت فروش برق به شبکه سوددهی سیستم افزایش می‌یابد. علاوه بر این، از شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان دریافت که اگر قیمت فروش برق به شبکه صفر ریال بر کیلووات ساعت باشد، درصد سوددهی سیستم صفر بوده و دوره بازگشت سرمایه بسیار بالا می‌باشد. علاوه براین، زمانی که هزینه سرمایه‌گذاری به اندازه‌ای پایین باشد که قابل قیاس با بویلرهای گازی معمول باشد، سوددهی سیستم با کاهش هزینه سرمایه‌گذاری، افزایش شدیدی خواهد داشت و در قیمت فروش برق ۱۷۰۰ ریال بر کیلووات ساعت حتی به ۹۵ درصد نیز خواهد رسید. در این حالت، سیستمCHP تمام بارهای گرمایشی را تامین کرده و نیاز به هیچ بویلر کمکی نیز نخواهد بود.

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد زمانی که قیمت فروش برق ۰ ریال بر کیلووات ساعت است دوره بازگشت سرمایه از ۲۰ سال برای هزینه اولیه ۳ میلیون ریال بر کیلووات تا ۶۵ سال برای هزینه اولیه ۱۰ میلیون ریال بر کیلووات متغیر می‌باشد. اما در قیمت‌های ۱۲۳۰ و ۱۷۰۰

ریال بر کیلووات ساعت تفاوت زیادی در دوره بازگشت سرمایه مشاهده نمی‌شود و شیب منحنی بسیار کم می‌باشد.

٦-٤. تحلیل حساسیت قیمت ارز

با توجه به این نکته که نرخ ارز یک متغیر تأثیرگذار بر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌هایCHP می‌باشد، افزایش یا کاهش نرخ ارز می‌تواند نتایج حاصل از مدل‌سازی را دچار تغییرات اساسی نماید. لذا در این بخش حساسیت شاخص سوددهی و دوره بازگشت سرمایه با تغییرات هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم CHP بررسی شده است. در این تحلیل قیمت برق ۶۰۰ ریال بر کیلووات ساعت، قیمت فروش برق به شبکه ۱۲۳۰ ریال بر کیلووات ساعت و قیمت گازوئیل ۳۵۰۰ ریال بر لیتر ثابت در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۰ تغییرات دوره بازگشت سرمایه و درصد سوددهی با تغییرات نرخ ارز نشان داده شده است.



شکل ۱۰. تحلیل حساسیت نرخ ارز، درصد سوددهی و دوره بازگشت سرمایه

همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد با افزایش نرخ ارز با فرض ثابت ماندن سایر هزینه‌ها من‌جمله هزینه حامل‌های انرژی، درصد سوددهی کاهش و دوره بازگشت سرمایه افزایش یافته است.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل فنی اقتصادی جهت استفاده از سیستمCHP باپلنت استحصال بیوگاز در یک دامداری نمونه، بر مبنای پیگرد حرارتی توسعه داده شده است. ظرفیت نامی سیستم بر مبنای حداکثر تقاضای حرارتی دامداری و واحد تولید بیوگاز در یک سال نمونه تعیین گردیده است. مقدار صرفه‌جویی سالانه در هزینه‌های انرژی ۱۱۴۲/۲ میلیون ریال و درصد سوددهی سیستم ۳۴٪ تعیین گردید، که ازنظر ملی و اقتصادی قابل توجیه می‌باشد و دوره بازگشت سرمایه آن ۳/۷ سال بدون در نظر گرفتن مقدار کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. سیستم در تمام ماه‌های سال انرژی حرارتی و الکتریکی مورد نیاز دامداری و واحد تولید بیوگاز را تأمین کرده و در هر ماه مقداری برق اضافی نیز تولید می‌شود که به شبکه فروخته شده و موجب افزایش سوددهی سیستم می‌گردد. از آن‌جایی که برق خریداری شده از شبکه در تمام ماه‌های سال صفر است سیستم می‌تواند به‌صورت یک سیستم مستقل از شبکه عمل کند. در انتها با استفاده از تحلیل حساسیت تأثیر عناصر کلیدی در تصمیم‌گیری، جهت پذیرش سیستم CHP با پلنت استحصال بیوگاز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهدکه درصورتی که این پلنت تولید بیوگاز با یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت ترکیب نمی شد، با توجه به قیمت‌های کنونی به هیچ وجه توجیه‌پذیری اقتصادی نداشت.

به‌طور حتم توسعه سیستم CHP بیوگاز سوز سبب خودکفایی در تأمین انرژی مورد نیاز واحدهای دامی خواهد شد و سبب می‌شود که یک دامداری بدون دسترسی به هرگونه منبع انرژی (از قبیل شبکه سراسری برق، شبکه گاز و ...) صرفاً در هر نقطه مورد نظر و بدون توجه به منابع انرژی احداث شود، درحالی‌که هم دارای برق و هم دارای گاز و هم دارای منبع حرارتی است و همچنین امکان فروش مستقیم برق به شبکه و جذب درآمد نیز وجود خواهد داشت. در

مجموع، طبق محاسبات صورت گرفته، منافع استفاده از سیستم CHP بیوگاز سوز در دامداری‌های کشور به‌منظور مستقل کردن این واحدها از برق شبکه سراسری و جلوگیری ازهزینه‌های هنگفتی که در این زمینه صورت می‌گیرد، آنقدر زیاد است که باید هرچه بیشتر از این منافع استفاده کرد. لذا پیشنهاد می‌شود حمایت‌های مالی و علمی از سوی مسئولین ذی‌ربط با تشویق مدیران دامپروری به نصب هاضم‌های بی‌هوازی بیوگاز در قالب طرحی با هدف تولید همزمان برق و حرارت صورت پذیرد.

منابع

امین صالحی، فرناز و محمد علی عبدلی (۱۳۸۸)، "ضرورت توسعه نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت بیوگازسوز در کشور"، هفتمین همایش ملی انرژی.

بانک مرکز جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۵)، قابل دسترسی از طریق سایت:
https://www.cbi.ir/simplelist/1515.aspx

دهدشتیان، مهیندخت و عمید مرندی (۱۳۷۸)،" بررسی امکان استفاده از بیوگاز در ایران"، *دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران*، شمال، صص ۱-۱۱.

ستاری، سورنا؛ لطفی، رقیه و حامد حوری جعفری (۱۳۸۸) ، "ممیزی انرژی در سیستم‌های ساختمانی"، انتشارات هزاره سوم، چاپ اول.

سلطانعلی، حمزه؛ نیکخواه، امین و عباس روحانی (۱۳۹۶) ، " امکان‌سنجی کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در واحدهای تولیدی شیر با به‌کارگیری سامانه‌های بیوگاز"، *فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، سال سوم، شماره ۶، صفحات ۱۱۵-۱۳۴.

قیصری، محمد حسین(۱۳۸۹)،" بیوگاز"، *فصل‌نامه تخصصی گاوهای شیری نولان*، شماره ۱.

کاظم، سارا و هومن فرزانه (۱۳۹۲)،" مدلسازی سیستم بازیافت انرژی جهت تولید توان بهینه از گاز متان رقیق در معدن زغال سنگ طبس ایران"، *فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، سال یکم، شماره ۱، صفحات ۵۷-۷۸.

Akbulut A. (2012), "Techno-economic Analysis of Electricity and Heat Generation from Farm-scale Biogas Plant: Cicekdag case study", *Energy*, No. 44, pp. 381-390.

Auburger S., Jacobs A., Marlander B. and E. Bahrs (2016), "Economic Optimization of Feedstock Mix for Energy Production with Biogas Technology in Germany with a Special Focus on Sugar Beets e Effects on Greenhouse gas Emissions and Energy Balances", *Renew. Energy*, No. 89, pp. 1-11.

Bacenetti J., Sala C., Fusi A. and M. Fiala (2016), "Agricultural Anaerobic Digestion Plants: What LCA Studies Pointed out and What Can Be Done to Make Them More Environmentally Sustainable", *Applied Energy*, Vol. 179, pp. 669-686.

Bauer W., Bauer S., Bauer T. (2012), "Energy and Greenhouse Gas Analysis for Biogas Power Plants", in: *International Conference on Renewable Energies and Power Quality* (ICREPQ'12), Santiago de Compostela Spain.

Bond T. and M.R. Templeton (2011), "History and Future of Domestic Biogas Plants in the Developing World", *Energy for Sustainable development*, Vol. 5, pp. 347-354.

CENERGY (2017), *Clean Energy Technologies*, available at: http://www.2g-cenergy.com/biogas-more.html.

CLICKSANAT, Production Group of Click Sanat (2016). Available at: http://www.clicksanat.com. Engineer-install-maintain, Clarke Energy, A KOHLER COMPANY, 2017. Available at: https://www.clarke-energy.com.

EurObserv'ER (2015), "15th Annual Overview Barometer" Retreived from: http://www. eurobserv-er. org/15th-annual 593overview-barometer/.

FAO (2006), "Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options", *in Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy.

Hongbo Ren., Weijun GAO (2009), *Economic and Environmental Evaluation of Micro CHP Systems with Different Operating Modes for Residential Buildings in Japan*, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu, Kitakyushu 808-0135 Japan.

Jacobsen B.H., Laugesen F.M. and A. Dubgaard (2014), "The Economics of Biogas in Denmark: a Farm and Socioeconomic Perspective", *International Journal of Agricultural Management*, (3), pp. 134-144.

Marañón E., Salter A.M., Castrillón L., Heaven S. and Y. Fernández-Nava (2011), "Reducing the Environmental Impact of Methane Emissions from Dairy Farms Byanaerobic Digestion of Cattle Waste", *Waste Management*, No.31, pp.1745-1751.

Matteo U.D., Nastasi B., Albo A. and D.A. Garcia (2017), "Energy Contribution of OFMSW (Organic Fraction of Municipal Solid Waste) to Energy-environmental Sustainability in Urban areas at Small Scale", Energies - Open Access Energy Res. *Eng. Policy J*., No. 10, pp. 229-242.

Mertzis D., Mitsakis P., Tsiakmakis S., Manara P., Zabaniotou A. and Z. Samaras (2014), "Performance Analysis of a Small-scale Combined Heat and Power System Using Agricultural Biomass Residues: the SMARt-CHP Demonstration Project", *Energy*, No. 64, pp. 367-374.

National Iranian Gas Company, NIGC (2016). Available at: http://www.iraniangas.ir.

Santoli L., Mancini F., Nastasi B. and V. Piergrossi (2015), "Building Integrated Bioenergy Production (BIBP): Economic Sustainability Analysis of Bari Airport CHP (Combined Heat and Power) Upgrade Fueled with Bioenergy from Short Chain", *Renew. Energy*, No. 81, pp. 499-508.

Tavanir Company (2016), The Company of Management, Production, Transmission and Distribution of Electricity, *Electric Power Industry Statistics*. Available at: http://www.tavanir.org.ir.

Torquati B., Venanzi S., Ciani A., Diotallevi F. and V. Tamburi (2014), "Environmental Sustainability and Economic Benefits of Dairy Farm Biogas Energy Production: A Case Study in Umbria", *Sustainability*, No. 6, pp.6696-6713.

Wresta A., Andriani D., Saepudin A., H. Sudibyo (2015), "Economic Analysis of Cow Manure Biogas as Energy Source for Electricity Power Generation in Small Scale Ranch", 2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2014. *Energy Procedia*, No. 68, pp. 122 – 131.

Young Kang J., Won Kang D., Seop Kim T. and K. Beom Hur (2014), "Comparative Economic Analysis of Gas Turbine-based Power Generation and Combined Heat and Power Systems Using Biogas Fuel", *Energy*, No. 67, pp. 309-318.