ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی تولید انرژی از فاضلاب شهر کرمان

زین العابدین صادقی*[۱]، سمیه مهدی زاده[۱]، حمیدرضا حرّی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۳۰

چکیده

بنا به اهمیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در این تحقیق به بررسی فرآیند نیروگاه بیوگازسوز قابل اجرا در تصفیه خانه های فاضلاب شهری کرمان با توجه به هزینه‌های ثابت و سالانه تولید انرژی به ازای هر کیلو وات برق تولیدی در صنایع کوچک(Biogas - DG Industry) در منطقه خاورمیانه پرداخته شده است. برای این منظور سناریوی عدم بازیابی انرژی و سناریوی بازیافت انرژی از فاضلاب شهر کرمان که خود شامل دو سناریوی فروش برق تولیدی به شبکه و سناریوی مصرف برق تولیدی در تصفیه خانه فاضلاب است، معرفی شده و برای هر یک از این سناریوها سه سناریو جمعیتی تعریف شده است. داده‌های مربوطه از ترازنامه انرژی و سایت آژانس بین‌المللی انرژی گرفته شده است و سپس با معیارهای اقصاد مهندسی از قبیل هزینه چرخه عمر سالانه، فاکتور ارزش فعلی خالص، نرخ بازدهی داخلی و به ارزیابی اقتصادی بازیافت انرژی از فاضلاب شهر کرمان پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که به لحاظ شاخص ارزش فعلی خالص، اقتصادی‌ترین سناریو برای تولید همزمان برق و حرارت از منابع تجدیدپذیر(بیوماس) از تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمان در سال ۱۳۹۱، سناریوی بازیافت انرژی - فروش برق تولیدی به شبکه است.

طبقه‌بندی *JEL*: *Q2,Q3,Q5,Q26*

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، تولید همزمان برق و حرارت، بیوگاز، هزینه چرخه عمر سالانه، شهر کرمان.

۱- به ترتیب استادیار گروه اقتصاد، دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی و استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

* نویسنده‌ی مسئول مقاله، abed_sadeghi@yahoo.com

پیشگفتار

در سال‌های اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، پدیده بحران انرژی را در جهان به وجود آورده است. از سوی دیگر محدودیت منابع فسیلی، آلاینده بودن این حامل‌ها، غیر قابل تجدید پذیر بودن این منابع و پیش‌بینی افزایش قیمت‌ها موجب گردیده است تا سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، تغییر حامل‌های انرژی و حرکت به‌سوی سوخت‌های پاک را در راس برنامه‌های کاری خود قرار دهند و یکی از این گزینه‌ها، استفاده از انرژی حاصل از منابع زیست توده می‌باشد.

شهر کرمان با میانگین درجه حرارت سالانه ۱۵.۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۱۴۶.۵ میلی‌متر به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک دنیا تحت تاثیر کمبود بارش، تغییرات دما و نوسانات شدید آن بوده است. جمعیت تحت پوشش این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰ برابر با ۶۲۱۳۷۴ نفر بوده که تا سال افق طرح ۱۴۰۵ این جمعیت به ۸۷۵۰۰۰ نفر پیش بینی می‌گردد. بر اساس اظهارات مدیرعامل آب و فاضلاب کرمان میزان سرانه مصرفی این شهر نزدیک روزانه ۲۰۰ لیتر است. بنابراین میزان مصرف سالیانه این شهر حدود ۶۴ میلیون متر مکعب می باشد. با درنظر گرفتن ضریب تبدیل آب به فاضلاب ۰.۷۵ مقدار فاضلاب سالیانه تولیدی شهر کرمان حدود ۴۸ میلیون متر مکعب برآورد می گردد(نیکنام و همکاران، ۱۳۹۰).

بیوگاز به گاز تولیدی از شکست بیولوژیکی محتوای آلی مواد در غیاب اکسیژن اطلاق می شود. بیوگاز، مخلوطی از سه گاز عمده بنام‌های متان، دی اکسیدکربن و سولفید هیدروژن است که از تجزیه‌ی بی‌هوازی و تخمیر زیست توده به‌وسیله‌ی باکتری‌های متانوژن حاصل می‌شود. وجه تمایز گاز متان زیست توده نسبت به سایر منابع، آن است که دی اکسید کربن حاصل از احتراق آن، از طریق فرآیند فتوسنتز به چرخه‌ی زیستی وارد شده و احتراق متان حاصل از زیست توده، دی‌اکسیدکربن افزوده‌ای را بر طبیعت تحمیل نمی‌نماید(درخشان فر و همکاران، ۱۳۹۰).

با بهره‌گیری از موتورهای گازسوز همراه با سیستم تولید همزمان برق و حرارت یا CHP[1] می‌توان اولا میزان برق مورد نیاز تصفیه خانه فاضلاب را تامین نمود و همچنین با ارسال بخار گرم تولیدی واحد CHP مراحل رشد و تکثیر باکتری‌ها را افزایش داد که این امر موجب تخمیر بهتر و تولید بیشتر بیوگاز گردیده و از طرفی خواص لجن هضم شده که ماحصل آن کود آلی می باشد که افزایش خواهد یافت که برخی از خواص لجن هضم شده شامل رنگ قهوه‌ای مایل به سیاه، دارای بوی خاک مرطوب بوده و تولید ناراحتی نمی‌کند، به خوبی آب خود را از دست می‌دهد، حجم آن به شدت

1 Combined heat and power (CHP)

کاسته شده است، خاصیت چسبندگی آن ناچیز است و مقدار موجودات زنده آن بسیار کمتر شده است(طاهری اصل و همکاران، ۱۳۹۲).

راسی و همکاران[1](۲۰۰۷) به بررسی گاز هاضم فاضلاب در فنلاند پرداختند. در این مقاله به این نتیجه رسیدند که اگر بیوگاز به عنوان سوخت خودرو استفاده شود(علاوه بر منبع حرارت و برق)، موجب کارایی بهتر به همراه آلودگی پایین‌تر می‌شود.

مونستر و لوند[2](۲۰۰۹) در یک مطالعه موردی در دانمارک با استفاده از مدلEnergyPLA ، فناوری تولید گرما، برق و سوخت حمل و نقل از زباله را بررسی نمودند.

ونکاتش و عبدی علمی[3](۲۰۱۳) به بررسی تجزیه و تحلیل اقتصادی زیست محیطی استفاده بیوگاز از لجن هاضم در تصفیه فاضلاب برای بازیافت انرژی، پرداختند و مورد مطالعه آنها تصفیه‌خانه فاضلاب Bekkelaget در اسلو (نروژ) بود.

اعتماد و صیادنژاد(۱۳۹۰) مدیریت لجن فاضلاب به منظور تولید انرژی را مد نظر قرار دادند.

درخشان‌فر و همکاران(۱۳۹۰) جنبه‌های اقتصادی احداث نیروگاه برق با سوخت بیوگاز در تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شمال اصفهان به‌عنوان نمونه، مورد مطالعه قرار گرفته است.

هدف از انجام این پژوهش این است که باتوجه به اینکه منابع آبی حیاتی‌ترین نیاز بشر است و نیز اینکه منابع آب قابل دسترس در حال کاهش است. لذا پیدا نمودن راهکارهایی برای جلو گیری از هدرروی و استفاده اقتصادی از این منبع ارزشمند، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین منظور استفاده از پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب جهت مصارف مختلف با رعایت ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته است. افزایش جمعیت و اشکالات و نارسایی‌هایی که در جوامع شهری وجود دارد که در این میان، برخی مناطق دچار آلودگی‌های محیط زیست شدند. به‌گونه‌ای که باعث سلب رفاه و آسایش مردم شهر کرمان و حتی خسارت به اماکن ارزشمند تاریخی شده است. چنانچه که درحال حاضر وجود دریاچه‌ای در عمق سه تا پنج متری در زیر شهر کرمان خسارات جبران‌ناپذیری به اماکن مسکونی و تاریخی وارد کرده است و از آنجا که فاضلاب هدر رفته نه تنها باعث تخریب روزافزون محیط زیست می‌شود، بلکه منابع اقتصادی ارزشمندی نیز هم از بین می‌رود. یافتن راه حلی که علاوه بر کاهش مشکلات زیست محیطی منطقه، از نظر اقتصادی و ایجاد درآمد برای منطقه مورد نظر مفید باشد، ضروری به نظر می‌رسد. هم اکنون در بسیاری از جوامع به جمع‌آوری پساب‌های خروجی و تصفیه فاضلاب می‌پردازند و این فرآیند با صرف انرژی همراه است، صنعت تصفیه

1 Rasi & et al.
2 Münster, Lund
3 Venkatesh, Abdi Elmi

فاضلاب با توجه به مراحل متعدد و وجود انواع پمپ‌ها و کمپرسورها از صنایع انرژی‌بر محسوب می‌گردد. ولی نکته اینجاست که می‌توان این انرژی را از خود فاضلاب استخراج نمود. سعی می‌شود تا میزان انرژی که در تصفیه فاضلاب صرف می‌شود، با استفاده از تولید همزمان برق و حرارت از منابع بیوماس که جز انرژی‌های تجدیدپذیر هستند، تامین شود و با بازیابی این انرژی پاک، از آلاینده‌های فسیلی استفاده کمتری شود تا محیط زیست آسیب کمتری داشته باشد. به همین دلیل، تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمان به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده و میزان بیوگاز، برق و حرارت و کود قابل تولید از آن محاسبه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تجزیه و تحلیل اقتصادی زیست محیطی استفاده بیوگاز از لجن هاضم در تصفیه فاضلاب برای بازیافت انرژی، صورت گرفت. این مطالعه برای تجزیه و تحلیل اقتصادی زیست محیطی گزینه‌های مختلفی که می‌تواند در بررسی بیوگاز لجن تصفیه خانه فاضلاب مفید و سودمند باشد، ارائه نموده است. مورد پایه به‌صورتی که در آن تمام بیوگاز ایجاد شده در جو سوزانده می‌شود، تعریف شده است(از بیوگاز فاضلاب استفاده نمی‌شود). پس از آن، هزینه‌های مختلف سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی- نگهداری در ارتباط با مصرف انرژی و بازیابی انرژی در تصفیه‌خانه فاضلاب و همچنین جریان درآمد بالقوه مشخص که نیروگاه می‌تواند از سود، یا فروش گرما و برق به‌دست آورد تعریف شده است. این تحلیل به شناسایی ترکیبات بالقوه برای بازیابی انرژی از بیوگاز و مقایسه هزینه های خالص مربوط به انرژی برای هر یک از آنها، در مقابل مورد پایه می پردازد.

الف) حالت پایه

به طور ساده در حالت پایه، مجموع هزینه برق خریداری شده از شبکه و هزینه‌های سوخت خریداری شده برای گرمایش مورد نیاز است. اندیس 'P' در معادله ذیل، مخفف هزینه‌های خالص مربوط به انرژی در سال 'P' برای مورد پایه است. بدون بازیافت انرژی به این معنی که نیازی به هرگونه سرمایه‌گذاری در جذب گاز، احتراق و تاسیسات زیرساختی انرژی، برای بازیابی انرژی نیست.

هزینه‌های مربوط به انرژی در این مورد شامل تامین برق از شبکه، حامل‌های سوختی برای تحقق نیازهای گرمایشی است.

در حالت پایه منافع ناشی از فروش کود(ARA_{manure}) وجود دارد.

هزینه چرخه عمر سالانه در حالت پایه:

$$\mathrm{ALCC} = \mathrm{ELec}_{\mathrm{grid,p}} * \mathrm{C}_{\mathrm{elec,p}} + \left(\mathrm{Heat}_{\mathrm{f,purchase,p}} * \mathrm{C}_{\mathrm{f,heat,p}}\right) - \left(\mathrm{ARA}_{\mathrm{manure}}\right) \quad (1)$$

که در آن:

$ALCC$= هزینه چرخه عمر سالانه در حالت پایه.

$\boldsymbol{ELec_{grid,p}}$= مقدار برق خریداری شده از شبکه.

در این مطالعه میزان برق تولیدی و انرژی حرارتی قابل استحصال از بیوگاز فاضلاب شهر کرمان محاسبه شده است و در حالت پایه، عدم بازیابی انرژی همین میزان برق و حرارت را که در حالت بازیابی انرژی قابل تولید بوده محاسبه شده تا مقایسه اقتصادی بین حالت عدم بازیابی انرژی و بازیافت انرژی از فاضلاب صورت گیرد. به همین دلیل مقدار و قیمت پارامترهای مشابه در حالت پایه و حالت بازیافت عمومی انرژی یکسان است.

$\mathrm{Cele_{c,p}}$ = هزینه برق خریداری شده از شبکه

بر اساس تعرفه‌های ابلاغی برق توسط وزارت نیرو، متوسط قیمت فروش هرکیلو وات برق به بخش کشاورزی(تصفیه خانه فاضلاب زیربخش بخش کشاورزی محسوب می‌شود)، در سال ۱۳۹۱ برابر با ۱۳۱.۱ ریال می باشد.

$\mathrm{Heat_{f,purchase,p}}$ = مقدار سوخت خریداری شده برای گرمایش مورد نیاز

ارزش حرارتی گاز طبیعی بر اساس داده‌های سایت انرژی محاسبه شده است که با به‌کارگیری انرژی حرارتی بیوگاز(هرمترمکعب بیوگاز ۲۲ مگاژول انرژی دارد) و مقایسه با ارزش حرارتی گاز طبیعی، میزان صرفه جویی در خرید گاز طبیعی برای تامین نیازهای گرمایشی مشخص می شود.

$\mathrm{C_{f,heat,p}}$ = هزینه های سوخت خریداری شده برای گرمایش مورد نیاز

بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱ متوسط قیمت هر مترمکعب گاز طبیعی برای بخش کشاورزی ۷۱۱ ریال در نظر گرفته شده است

ARA_{manure} : درآمد سالانه فروش کود

مقدار تولید کود سالانه در تصفیه خانه با مقدار فضولات انسانی ورودی به تصفیه خانه فاضلاب برابر است[1]. در بعضی کشورها از جمله ایران از فضولات انسانی به‌عنوان کود در مزارع کشاورزی استفاده می‌شود. در این مطالعه قیمت هر کیلوگرم کود حیوانی معادل با ۵۰۰ ریال استفاده شده است.

با گذشت زمان، با افزایش حجم فاضلاب به‌کار گرفته شده، برق مورد نیاز افزایش می‌یابد. هزینه واقعی برق از شبکه ممکن است تغییر کند(به طور کلی افزایش یابد). ممکن است نیازهای حرارتی با افزایش حجم لجنی که به‌کار گرفته می‌شود، بالا رود و نیز ممکن است هزینه‌های واقعی عناصر سوخت بالا برود.

1 Biogas FAQ

تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی بر اساس میزان فضولات انسانی جمع‌آوری شده در تصفیه‌خانه فاضلاب صورت می‌گیرد.

از آنجا که متغیرهای موجود در رابطه حالت پایه، در حالت بازیافت عمومی انرژی وجود دارند، در قسمت بعد به‌صورت کامل توضیح داده می‌شود تا از تکرار جلوگیری شود.

ب) حالت بازیافت عمومی انرژی

در حالت ایده آل، یک تصفیه خانه فاضلاب به اندازه کافی انعطاف‌پذیر است که قادر به بدست آوردن فایده از همه فرصت‌های امکان‌پذیر برای بازیابی، استفاده و یا فروش انرژی از بیوگاز تولید شده از هاضم باشد. با این حال سودآوری(یا حداقل بازیابی هزینه کامل چرخه عمر سیستم) باید یکی از اصول سرمایه‌گذاری با توجه به بازیابی سیستم انرژی باشد. در این مورد از نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت(CHP)[1] با سوخت بیوگاز استفاده می‌شود که هزینه‌های نیروگاه و درآمد احتمالی از فروش گرما و برق در نظر گرفته شده و مزایای زیست محیطی ناشی از اجتناب انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز لحاظ شده است(Venkatesh Abdi & Elmi,2013).

معیار $ALCC$ را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$\mathrm{ALCC} = \mathrm{C_0} * \mathrm{CRF} + \mathrm{AOC} - \left(\mathrm{ARA_{grid}} + \mathrm{ARA_{manure}} + \mathrm{B_{Avoided\ GHG\ emissions}}\right) \quad (۲)$$

C_0: هزینه اولیه تجهیزات نیروگاه

CRF : ضریب بازگشت سرمایه که به صورت زیر محاسبه می شود: (عظیم زاده، ۱۳۹۰)

$$CRF = \frac{(1+d)^n d}{[(1+d)^n - 1]} \quad (۳)$$

که d ترخ تنزیل و n عمر مفید تجهیزات می باشد.

AOC: هزینه عملیاتی سالانه.

ARA_{grid} : درآمد سالانه اجتناب از خرید برق و حرارت از شبکه.

ARA_{manure} : درآمد سالانه فروش کود.

$B_{Avoided\ GHG\ emissions}$= هزینه‌های اجتناب انتشار گازهای گلخانه‌ای.

باید ضمن تعریف دقیق همه متغیرها به صراحت چگونگی اندازه‌گیری هر یک از آنها را شرح دهید. این امر برای کلیه روابط زیر هم صادق است.

حال به بررسی میزان برق تولیدی از بیوگاز حاصل از فاضلاب جمعیت شهر کرمان پرداخته و هریک از متغیرها طی تجزیه و تحلیل به‌صورت مجزا تعریف و چگونگی اندازه‌گیری هریک توضیح داده می‌شود.

---

1 Combined heat and power (CHP)

مبنای تجزیه و تحلیل در این مطالعه میزان فضولات انسانی جمع‌آوری شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان است. با توجه به اهداف تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان در جهت توسعه تصفیه خانه و جمع آوری بیشتر فاضلاب‌های شهری سه سناریوی جمعیتی در این تحقیق بررسی می‌شود. پس از آن بر اساس اطلاعات و تحقیقات صورت گرفته که هر انسان در شبانه‌روز حدود ۰.۵ کیلوگرم فضولات انسانی تولید می‌نماید. یعنی هر فرد در هر ساعت ۰.۰۲ کیلوگرم فضولات انسانی دارد و با داشتن جمعیت شهر کرمان که فضولاتشان توسط تصفیه‌خانه فاضلاب جمع می‌شود، میزان فضولات در ساعت را به‌دست آورده و بر طبق مطالعات انجام شده که غالبا ذکر نمودند؛ هر کیلوگرم فضولات حدود ۰.۰۵ متر مکعب بیوگاز تولید می‌کند که ارزش حرارتی هر مترمکعب بیوگاز برابر با ۲۲۰۰۰ کیلو ژول است و طی فرآیند تولید همزمان برق و حرارت ۳۰٪ آن به‌صورت انرژی الکتریکی و ۵۰٪ آن انرژی حرارتی بازیافت می‌شود.

در خصوص نرخ‌های تبدیل ریال به دلار در زمان انجام محاسبات در این مطالعه با توجه به متوسط قیمت‌های اعلام شده بازار آزاد در خصوص نرخ ارز از نماگرهای اقتصادی بانک مرکزی استفاده شده است. همچنین در این مطالعه نرخ تنزیل برابر با نرخ بهره اوراق مشارکت بلندمدت در نظر گرفته شده که در جدول ۱ مفروضات بر اساس اطلاعات موجود در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱ و بانک مرکزی و ساعات کارکرد سالانه جمع‌آوری شده است.

معرفی متغیرهای مدل:

C_0: هزینه اولیه تجهیزات نیروگاه و AOC: هزینه عملیاتی سالانه

احداث نیروگاه بیوگاز در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری نوعی پروژه باتری لمیت B[1] (احداث واحد جدید در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود) محسوب می‌گردد. برخی هزینه‌ها در سرمایه‌گذاری در نظر گرفته نمی‌شوند. در این خصوص می‌توان زمین مورد نیاز را نام برد. در محاسبه معیار هزینه چرخه عمر سالانه برای تکنولوژی مورد بررسی، هزینه‌ها به دو نوع هزینه شامل هزینه اولیه تجهیزات و هزینه‌های تعمیر و نگهداری تقسیم‌بندی می‌شود که این هزینه‌ها بر اساس نرخی که آژانس بین المللی انرژی در خصوص تولید انرژی از منابع بیوماس در خاورمیانه برای صنایعی[2] که از تولید پراکنده[3] استفاده می‌کنند، به ازای هر کیلووات برق تولیدی اعلام نموده به‌دست آمده است.

1Buttery Limit
2 Biogas – DG Industry
3 Distributed Generation (DG)

هزینه ثابت و هزینه عملیاتی سالانه برای هر کیلووات برق تولیدی از منابع بیومس در خاورمیانه، طبق استانداردهای جهانی در سال ۲۰۱۲ به‌ترتیب برابر با ۲۶۹۰ و ۱۰۲ دلار است و هزینه‌های ثابت و تعمیر و نگهداری بر اساس ظرفیت تولید برق در سناریوهای جمعیتی ۵۰٪ . ۸۰٪ و ۱۰۰٪ در جدول ۳ محاسبه شده است.

در جدول ۳ هزینه خرید برق از شبکه مرتبط با سناریوی بازیافت انرژی و فروش برق تولیدی است که در این حالت تصفیه خانه فاضلاب برق مورد نیاز خود را از شبکه سراسری بر اساس تعرفه بخش کشاورزی که خود زیر بخش این بخش است، می‌خرد و جزو هزینه‌های سالانه‌اش محسوب می‌شود و هزینه تعمیر و نگهداری سالانه و هزینه ثابت برای سناریوی بازیافت انرژی مشترک هستند.

درآمدها

ARA_{grid} : درآمد سالانه اجتناب از خرید برق و حرارت از شبکه

تولید پراکنده برق و بالاخص تولید همزمان برق و حرارت باعث ایجاد درآمدهایی برای تولیدکننده برق می‌گردد که این درآمدها نیز در هنگام محاسبات هزینه چرخه عمر سالانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. درآمدهای ناشی از تولید همزمان برق و حرارت به دو نوع درآمدهای اجتناب از خرید و درآمد حاصل از فروش برق تقسیم‌بندی می‌شوند.

درآمد اجتناب از خرید

در روش سنتی تامین برق از طریق خرید برق از شبکه صورت می‌گیرد، بنابراین پس از استقرار سیستم‌های تولید پراکنده، مصرف‌کننده از خرید برق از شبکه بی‌نیاز خواهد شد و این موضوع باعث ایجاد درآمدی برای مصرف‌کننده از طریق صرفه‌جویی و یا عدم خرید برق از شبکه خواهد شد که به این درآمد ایجاد شده درآمد اجتناب از خرید برق گفته می‌شود. در حال حاضر تصفیه‌خانه فاضلاب کرمان برق مورد نیاز خود را از شبکه سراسری خریداری می‌کند. پس از اجرای طرح، بدین طریق برق خریداری شده مورد نیاز شرکت از شبکه کاهش و توسط تولید همزمان برق و حرارت از بیوگاز تامین می‌شود. بر اساس تعرفه‌های ابلاغی برق توسط وزارت نیرو، متوسط قیمت فروش برق به بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۱ برابر با ۱۳۱.۱ ریال می‌باشد.

درآمد حاصل از فروش برق

بر اساس تصمیم هیات دولت در سال ۱۳۹۲، طبق مصوبه ابلاغ پایه خرید برق از نیروگاه‌های انرژی‌های نو و پاک، در اجرای مفاد بند (ب) ماده (۱۳۳) قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران و مصوبه شماره ۱۰۰۳۷۷۳۲ مورخ ۹۱/۰۵/۰۸ شورای محترم اقتصاد، پایه نرخ پایه خرید برق از نیروگاه‌های موضوع ماده یک این دستورالعمل در سال ۱۳۹۲ برای نیروگاه‌های مشمول ماده(۴) دستورالعمل مزبور معادل ۴۴۴۲ ریال و برای نیروگاه‌های غیر مشمول

این ماده، معادل ۴۳۷۱ ریال به ازای هر کیلووات ساعت تعیین می‌گردد. بنابراین قیمت فروش هر کیلووات ساعت برق حاصل از انرژی‌های تجدیدپذیر ۴۴۴۲ ریال در نظر گرفته می‌شود.

درآمد ناشی از کاهش میزان مصرف گاز طبیعی

کاهش میزان مصرف گاز طبیعی جهت تولید حرارت به خاطر جایگزین شدن آن با بیوگاز صورت می‌گیرد. بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱ متوسط قیمت هر مترمکعب گاز طبیعی برای بخش کشاورزی ۷۱۱ ریال در نظر گرفته شده است.

طبق مطالعات انجام شده در تولید همزمان برق و حرارت ۵۰٪ از میزان انرژی بیوگاز به‌صورت گرما قابل بازیافت است که با بازیابی انرژی گرمایی، می‌توان آن را برای تامین نیازهای حرارتی و گرمایشی در تصفیه خانه فاضلاب به‌کار برد. ارزش حرارتی گاز طبیعی بر اساس داده‌های سایت انرژی محاسبه شده است که با به‌کارگیری انرژی حرارتی بیوگاز(هرمترمکعب بیوگاز ۲۲ مگاژول انرژی دارد) و مقایسه با ارزش حرارتی گاز طبیعی، میزان صرفه جویی در خرید گاز طبیعی برای تامین نیازهای گرمایشی مشخص می شود.

ARA_{manure} : درآمد ناشی از فروش کود غنی شده خروجی از هاضم.

مقدار تولید کود سالانه در تصفیه خانه با مقدار فضولات انسانی ورودی به تصفیه خانه فاضلاب برابر است[1]. برای محاسبه منافع ناشی از فروش کود حاصل از لجن فاضلاب، با توجه به اینکه در ایران هنوز قیمت مشخصی برای این کود نیست و طبق مطالعات صورت گرفته کود حیوانی در حقیقت از فضولات حیوانات تهیه می‌شود که بیشتر از کود گوسفند، گاو، اسب و یا مرغ تشکیل شده است. کود انسانی نیز در رده کودهای حیوانی به حساب می‌آید. در بعضی کشورها از جمله ایران از فضولات انسانی به عنوان کود در مزارع کشاورزی استفاده می‌شود. در این مطالعه قیمت هر کیلو گرم کود حیوانی معادل با ۵۰۰ ریال استفاده شده است.

$B_{Avoided\ GHG\ emissions}$= هزینه های اجتناب انتشار گازهای گلخانه ای

هم اکنون تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی با هزینه‌های پنهان متعددی همراه است. یکی از مهم‌ترین این هزینه‌ها صدمات زیست محیطی است که این منابع انرژی ایجاد می‌کنند. با توجه به این موضوع جایگزینی نیروگاه‌های مرسوم فسیلی با نیروگاه‌های بیوگازسوز از نظر اجتماعی و زیست محیطی بسیار مفید خواهد بود. با استفاده از مقادیر میانگین شاخص انتشار آلاینده دی اکسید کربن در بخش نیروگاهی به ازای هر کیلو وات ساعت برق تولیدی ۶۳۸.۷ گرم دی‌اکسیدکربن منتشر می‌شود و با استفاده از قیمت آلاینده دی اکسید کربن در ترازنامه انرژی براساس قیمت های ثابت سال ۱۳۸۱، هرتن دی اکسید کربن معادل با ۸۰۰۰۰ ریال می باشد که

1 Biogas FAQ

با استفاده از متوسط نرخ ارز دلار در بازار آزاد از نماگرهای اقتصادی بانک مرکزی و میـانگین رشـد نرخ ارز از سال ۸۲ تا ۹۱ قیمت هرتن دی اکسید کربن معادل با ۱۰ دلار یا ۲۶۳۸۴۳ ریال است.

در قسمت قبل روش اندازه‌گیری میزان و قیمت هر یک از پارامترها توضیح داده شد و در جدول ۵ درآمدهای مربوط به سناریوهای بازیافت انرژی در حالت فروش برق تولیدی برای هر سه سناریوی جمعیتی شهر کرمان به‌دست آمده است.

با توجه به مقادیر جدول ۵ ملاحظه می‌شود که هریک از درآمدها در سناریوهای جمعیتی ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۵۰٪ به ترتیب بیشتر است که مربوط به افزایش جمعیت تحت پوشش تصفیه خانه فاضلاب و ازدیاد حجم فاضلاب و صرفه‌های ناشی از مقیاس است و در جدول ۶ درآمدهای مربوط به سناریوهای بازیافت انرژی در حالت مصرف برق تولیدی برای هر سه سناریوی جمعیتی شهر کرمان به‌دست آمده است.

از مقایسه جدول ۵ و ۶ مشخص می‌شود که تفاوت سناریو مصرف برق و سناریوی فروش برق تولیدی، در قیمت هر کیلو وات برق است.

هزینه چرخه عمر برابر با هزینه‌های تنزیل شده در طی دوره عمر پروژه می‌باشد. بنابراین می‌توان LCC را به سه متغیر تقسیم کرد. هزینه‌های مرتبط با سرمایه‌گذار، دوره عمر پروژه و نرخ تنزیل که برای معادل ساختن هزینه‌های آینده با ارزش حال، به‌کار می‌رود.

هزینه چرخه عمر عبارت است از مجموع تمام هزینه‌های سیستم در طول مدت به‌کارگیری یا عمر آن بر حسب قیمت‌های همان روز، برای آن که مقایسه معنی‌داری انجام گیرد تمام مخارج یا هزینه‌ها و منافع و درآمدها بایستی به‌صورت ارزش‌های معادل روز یا اصطلاحا ارزش فعلی[1] PW درآیند. برای این امر از نرخ تنزیل[2] یا بهره به صورت رابطه زیر استفاده شد(عظیم زاده، ۱۳۹۰).

$$PW = Pr \times FW \quad (۴)$$

$$Pr = \frac{1}{(1+d)^n} \quad (۵)$$

که در آن PW ارزش فعلی، Pr ضریب ارزش فعلی[3]، d نرخ بهره سالانه، n تعداد سال‌ها و FW ارزش آینده[4] مربوط به هزینه‌ها یا درآمدها می‌باشد.

نرخ بهره یا نرخ تنزیل سالانه عبارت است از درصد کاهش ارزش پول سرمایه‌گذاری شده در مدت یکسال است. ارزش فعلی هزینه‌ای که قرار است به‌صورت سالانه طی n سال پرداخت شود، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

1 Present Worth
2 Discount rate
3 Present worth factor
4 Future Worth

$$PW = Pa \times Ca \quad (۶)$$

$$pa = \frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n} \quad (۷)$$

که در آن Ca هزینه سالانه[1]، d نرخ بهره، n تعداد سال‌ها و Pa ضریب ارزش فعلی پرداخت سالانه[2] است.

شاخص d برابر است با نرخ تنزیل اسمی. نرخ تنزیل واقعی d_a برابر است با

$$d_a = (d - g)/(1 + g) \quad (۸)$$

که g نرخ تورم سالانه می باشد

نتایج و بحث

مقایسه هزینه چرخه عمر در بین سناریوها بدین شرح که در حالتی که انرژی از تصفیه‌خانه بازیافت نمی‌شود و برق و نیازهای گرمایشی مورد نیاز تصفیه‌خانه از شبکه سراسری تامین می‌شود، در مقایسه با حالتی که بازیافت انرژی هست و در دو سناریوی فروش برق تولیدی و سناریوی مصرف برق و بحث درآمد از اجتناب خرید در جدول ۷ صورت می‌گیرد. البته قابل ذکر است که در ابتدا هزینه چرخه عمر با نرخ تنزیل اسمی براساس نرخ بهره اوراق مشارکت بلندمدت ۲۳٪ محاسبه شده و نتایج زیر به‌دست آمده است.

همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، سناریو عدم تولید انرژی از بیوگاز، کمترین هزینه چرخه عمر سالانه را داشته و بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان سناریویی که توجیه اقتصادی بالاتری دارد، انتخاب کرد که در این سناریو منافع سالانه تنها از فروش کود بوده است و با توجه به اینکه میزان فروش کود در هر سه سناریو عدم تولید انرژی و بازیافت انرژی در سناریو الف و ب مشترک است و به دلیل قیمت‌های پایین انرژی در ایران و کمیابی سوخت‌های فسیلی در آینده، تولید همزمان برق و حرارت در سناریو الف و ب بازیافت انرژی از بیوگاز بررسی می‌شود و همچنان که در جداول و نمودارهای قسمت بعد مشخص می‌شود، سناریو الف از سناریو ب در بازیافت انرژی به لحاظ اقتصادی کاراتر است و برای تحلیل دقیق‌تر از نرخ تنزیل واقعی ۴ درصد با لحاظ کردن تورم ۱۸٪ بر اساس متوسط نرخ تورم اعلام شده در بلندمدت از نماگرهای اقتصادی بانک مرکزی در محاسبات ارزش فعلی خالص و نرخ بازدهی داخلی و دوره بازگشت سرمایه و دوره بازگشت سرمایه متحرک و نسبت منافع به هزینه‌ها در سناریوها در جدول ۸ بررسی خواهد شد.

از بین سناریوهای تولید انرژی از بیوگاز بررسی شده، سناریوی الف) فروش برق تولیدی به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر بود و از بین سناریوهای جمعیتی سناریوی جمعیتی ۱۰۰ درصد به جهت

1 Annual Cost
2 Cumulative present worth factor

تولید بیشتر و صرفه نسبت به مقیاس کاراتر بوده است و در سناریوی ب) مصرف برق تولیدی، توجیه اقتصادی نداشت.

در این بخش تحلیل حساسیت متغیرها صورت می‌گیرد و با استفاده از نمودار نمایش داده می‌شود. با در نظر گرفتن محدوده‌ای از نرخ‌های تنزیل میزان تغییرات ارزش فعلی خالص محاسبه می‌شود. افزایش نرخ تنزیل باعث کاهش ارزش فعلی خالص می‌شود.

۱- اثر تغییر نرخ بهره واقعی در ارزش فعلی خالص در سناریو الف) فروش برق تولیدی

همانطور که در نمودار سناریو الف دیده می‌شود، در نرخ تنزیل واقعی ۴٪ که درآن نرخ تورم ۱۸٪ لحاظ شده طرح توجیه اقتصادی دارد. در سناریو الف، نرخ بازدهی داخلی۱۱.۴۶درصد است که در نرخ های تنزیل بالاتر از آن، ارزش فعلی خالص منفی شده و طرح توجیه اقتصادی ندارد و تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص در سناریوی بازیافت انرژی و مصرف برق تولیدی به‌صورت زیر است.

۲- اثر تغییر نرخ بهره در ارزش فعلی خالص در سناریو ب) مصرف برق تولیدی

در این سناریو نرخ بازدهی داخلی پیدا نشد. بدین دلیل که به ازای هیچ نرخی سرمایه بر نمی‌گردد و مقدار ارزش فعلی خالص در این سناریو منفی است و این سناریو توجیه اقتصادی ندارد.

در واقع می‌توان با تغییر در قیمت فروش برق به شبکه، دامنه قیمتی مناسب برای سرمایه‌گذار که در آن دامنه قیمتی، ارزش فعلی خالص پروژه مثبت و پروژه توجیه‌پذیری اقتصادی داشته باشد را به‌دست آورد.

۳- اثرتغییر قیمت فروش برق تولیدی بر ارزش فعلی خالص

همانطور که در نمودار دیده می‌شود با افزایش قیمت فروش برق، ارزش فعلی خالص در سناریوها افزایش می‌یابد. تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص نسبت به قیمت فروش برق نشان می‌دهد که با ۴۴ درصد کاهش قیمت فروش برق در قیمت ۲۴۸۰ ریال ارزش فعلی خالص صفر است. در هر قیمتی بالاتر از این قیمت، سناریوی الف توجیه اقتصادی دارد و به ازای قیمت‌های کمتر از قیمت مذکور توجیه اقتصادی ندارد.

در این بخش با توجه به تغییر قیمت‌های انرژی، تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص نسبت به قیمت برق مصرفی از شبکه در تصفیه خانه فاضلاب صورت می‌گیرد و دامنه تغییر قیمت از ۸۰٪- قیمت برق طبق تعرفه بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۱ تا هزینه تمام شده تولید یک کیلو وات برق شبکه به قیمت ۸۵۰ ریال در نظر گرفته شده است.

۴- اثر تغییر قیمت برق شبکه بر ارزش فعلی خالص در سناریو الف) فروش برق تولیدی

با توجه به نمودار ۴ افزایش قیمت برق شبکه در سناریو الف باعث کاهش ارزش فعلی خالص می‌شود. در سناریو الف) فروش برق تولیدی، با افزایش ۸۰ درصد قیمت برق شبکه، ارزش فعلی

خالص در نرخ تنزیل واقعی ۰.۰۴ همچنان مثبت می‌باشد و این سناریو به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

حال تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص نسبت به قیمت برق مصرفی از شبکه در تصفیه‌خانه فاضلاب در سناریو ب) مصرف برق تولیدی بررسی می‌شود.

۵- اثر تغییر قیمت برق شبکه بر ارزش فعلی خالص در سناریو ب) مصرف برق تولیدی

افزایش قیمت برق شبکه در سناریو ب باعث افزایش درآمد اجتناب از خرید برق و افزایش ارزش فعلی خالص می‌شود و در سناریو ب) مصرف برق تولیدی با۸۰ درصد افزایش در قیمت برق شبکه که منجر به افزایش درآمد اجتناب از خرید برق می‌شود، همچنان ارزش فعلی خالص در نرخ تنزیل واقعی ۰.۰۴ منفی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله ارزش خالص فعلی برای تولید همزمان برق و حرارت از بیوگاز برای سرمایه‌گذار با توجه به نرخ تنزیل اسمی ۲۳٪ و نرخ تورم ۱۸٪ ارزش فعلی خالص طرح در سناریوهای الف و ب بازیافت انرژی محاسبه شده است. از بین سناریوهای تولید انرژی از بیوگاز بررسی شده، سناریوی الف) فروش برق تولیدی به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر بود و از بین سناریوهای جمعیتی سناریوی جمعیتی ۱۰۰ درصد به جهت تولید بیشتر و صرفه نسبت به مقیاس کاراتر بوده و در سناریوی ب) مصرف برق تولیدی، توجیه اقتصادی نداشت. تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان بهتر است با ایجاد سیستم تصفیه فاضلاب پیشرفته بخشی از هزینه‌ها را نیز طریق فروش آب تامین نماید.

به دلیل اینکه قیمت تمام شده برق دراجرای نیروگاه بیوگاز سوز تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمان بالاست، باید با استفاده از سیاست قیمت‌گذاری feed-in tariff پرداخت هزینه‌های سرمایه‌گذاری احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید برق این نوع نیروگاه‌ها تجاری شوند. feed-in tariff که معنای لغوی آن تغذیه در تعرفه است و به‌عنوان تعرفه تشویقی انرژی‌های تجدیدپذیر شناخته می‌شود و در واقع پولی است که از طرف شرکت تامین‌کننده انرژی یا متولی شبکه برق یک کشور به تولید کننده برق از منابع تجدیدپذیر پرداخت می‌شود. بسیاری از کشورها از این طرح برای تشویق مردم به تولید و استفاده از منابع تجدیدپذیر استفاده می‌کنند.

فهرست منابع:

۱. اسکونژاد م. اقتصاد مهندسی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ بیست ودوم، ۱۳۸۴.

۲. اعتماد ن. صیادنژاد، م ع. ۱۳۹۰. مدیریت لجن فاضلاب به منظور تولید انرژی. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

۳. تراز نامه انرژی، سال ۱۳۹۱

۴. درخشان فر ح. قانعی م ر. حسینی ح. شیری م ر. ۱۳۹۰. امکان سنجی استحصال و تصفیه بیوگاز تصفیه خانه فاضلاب اصفهان جهت استفاده درسیستم تولید همزمان برق و حرارت. همایش ملی بیو انرژی.

۵. طاهری اصل ا ر. زائری ا ح. بهرامی نژاد ب. مصطفوی ح. ۱۳۹۲. ارزیابی فنی سیستم های مکاترونیکی نیروگاه تولید برق حاصل از بیوگاز تصفیه خانه های فاضلاب. دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد توسعه پایدار.

۶. عظیم زاده ص. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی تولید همزمان برق و حرارت با رویکرد قیمت گذاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

7. Cornejo C. Wilkie A.C. 2010. Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. Journal of Energy for Sustainable Development, 14: 256–266.
8. International energy agency. 2013. World Energy Outlook.
9. 8- Münster, M., Lund H. 2009.Use of waste for heat, electricity and transport - challenges when performing energy system analysis. Energy, 34: 636-44.
10. 9- Rasi, S., Veijanen A., Rintala J. 2007. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. Energy. 32: 1375-80.
11. 10- Venkatesh G., Abdi Elmi R. 2013. Economice environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway). Journal of Energy, 58: 220-235.

پیوست‌ها

جدول ۱- اطلاعات مربوط به بررسی انرژی حاصل از بیوگاز

جمعیت شهر کرمان بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰	۶۲۱۳۷۴ (نفر)
میزان بیوگازحاصل از یک کیلو کود انسانی[1]	۰.۰۵۶ (m^3)
انرژی یک متر مکعب بیوگاز[2]	۲۲ مگاژول
کارایی تولید برق از یک متر مکعب بیوگاز[3]	حدود ۳۰٪
انرژی گرمایی(کیلو ژول) بازیافتی[4] برای تامین نیاز های حرارتی و گرمایشی	حدود ۵۰٪ یا ۱۱۰۰۰ KJ
عمر مفید تجهیزات تولید بیوگاز	۳۰ سال
هزینه استهلاک(به روش مستقیم)	٪۱۰

جدول ۲- اطلاعات اولیه جهت انجام محاسبات

متوسط قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی در بخش کشاورزی سال۱۳۹۱	۷۱۱ ریال
متوسط قیمت هر کیلووات ساعت برق خریداری شده از شبکه در بخش کشاورزی سال۱۳۹۱	۱۳۱.۱ ریال
قیمت هر کیلووات ساعت برق از منابع تجدیدپذیر طبق مصوبه دولت	۴۴۴۲ ریال
متوسط نرخ تبدیل دلار در بازار آزاد (قیمت های اعلام شده بانک مرکزی در سال ۱۳۹۱)	۲۶۰۵۹ ریال
نرخ تنزیل(نرخ بهره اوراق مشارکت بلند مدت)	٪۲۳
ساعات کارکرد سالانه	۷۲۰۰ ساعت
نرخ تورم در محاسبات ارزش فعلی خالص	٪۱۸

جدول۳- هزینه های مربوط به سناریوهای مورد بررسی

هزینه خرید برق از شبکه (ریال)	هزینه تعمیر ونگهداری سالانه (ریال)	هزینه ثابت به ازای ظرفیت اسمی برق (ریال)	سناریو های جمعیتی
۱۳۱.۱۰ (ریال) به ازای یک کیلو وات	۲,۶۵۸,۰۱۸.۰۰ (ریال) به ازای یک کیلو وات	۷۰,۰۹۸,۷۱۰.۰۰ (ریال) به ازای یک کیلو وات	
۸۷۱۱۹.۲۲	۵,۸۸۷,۷۳۱,۱۲۵.۳۹	۱۵۵,۲۷۴,۴۷۷,۷۱۸.۵۵	٪۵۰
۱۳۹۳۹۰.۷۶	۹,۴۲۰,۳۶۹,۸۰۰.۶۲	۲۴۸,۴۳۹,۱۶۴,۳۴۹.۶۷	٪۸۰
۱۷۴۲۳۸.۴۵	۱۱,۷۷۵,۴۶۲,۲۵۰.۷۷	۳۱۰,۵۴۸,۹۵۵,۴۳۷.۰۹	٪۱۰۰

منبع : محاسبات محقق

1 http://www.reein.org
2 Cornejo & et all, 2010

۳آژانس بین‌المللی انرژیBiogas FAQ
۴پایان نامه عظیم زاده

BTU +۱۳E۳.۵۷۱۴۹	یک بیلیون مترمکعب گاز طبیعی
BTU ۳۵۷۱.۴۹	یک متر مکعب گاز طبیعی
	۸۶۰ KCAL = ۳۴۱۲ BTU
	۱ BTU= ؟KCAL
BTU ۳۹۶۷۴۴۱۸۶	۱KCAL
KCAL ۹۰۰۱.۹۹۳۶۶	یک متر مکعب گاز طبیعی
	۳۶۰۰ KJ = ۸۶۰ KCAL
KJ ۳۷۶۷۴.۴۲	یک متر مکعب گاز طبیعی

منبع: محاسبات محقق و BP-Statistical energy world of Review ۲۰۱۴

جدول ۴- میزان محصولات تولیدی از بیوگاز در ساعت از فاضلاب جمعیت شهر کرمان

میزان اجتناب از انتشار CO2 TON/KWh	صرفه جویی در خرید گازطبیعی KJ/ m^3	برق تولیدی KWh/m^3	سناریوهای جمعیتی
۰.۰۰۰۶۳۹ TON به ازای یک کیلو وات ساعت برق شبکه	KJ ۳۷۶۷۴.۴۲ به ازای یک متر مکعب گاز طبیعی	۱.۸۳۳۳۳ به ازای یک متر مکعب بیوگاز	
۰.۴۲	۱۰۵.۸۳	۶۶۴.۵۲۵	٪۵۰
۰.۶۸	۱۶۹.۳۳	۱۰۶۳.۲۴	٪۸۰
۰.۸۵	۲۱۱.۶۶	۱۳۲۹.۰۵	٪۱۰۰

منبع: محاسبات محقق

جدول۵- تفکیک درامد های سالیانه در سناریو بازیافت انرژی درحالت فروش برق تولیدی

اجتناب از انتشار CO_2 (ریال)	فروش کود(ریال)	صرفه جویی در خرید گاز(ریال)	فروش برق(ریال)	سناریو جمعیتی
۸۰۶۲۹۹۷۶۶.۲۵	۲۳۳۰۱۵۲۵۰۰۰.۰۰	۵۴۱۷۷۳۹۱۹.۴۲	۲۱۲۵۳۱۰۳۴۷۱.۶۰	٪۵۰
۱۲۹۰۰۷۹۶۲۵.۹۹	۳۷۲۸۲۴۴۰۰۰۰.۰۰	۸۶۶۸۳۸۲۷۱.۰۷	۳۴۰۰۴۹۶۵۵۵۴.۵۶	٪۸۰
۱۶۱۲۵۹۹۵۳۲.۴۹	۴۶۶۰۳۰۵۰۰۰۰.۰۰	۱۰۸۳۵۴۷۸۳۸.۸۴	۴۲۵۰۶۲۰۶۹۴۳.۲۰	٪۱۰۰

منبع: محاسبات محقق

جدول ۶-تفکیک درامد های سالیانه در سناریو بازیافت انرژی درحالت مصرف برق تولیدی

منافع ناشی ازاجتناب انتشار CO_2 (ریال)	فروش کود (ریال)	صرفه جویی در خرید گاز (ریال)	درآمد اجتناب از خرید برق (ریال)	سناریو جمعیتی
۸۰۶,۲۹۹,۷۶۶	۲۳۳۰۱۵۲۵۰۰۰.۰۰	۵۴۱۷۷۳۹۱۹.۴۲	۶۲۷۲۵۸۴۱۱.۷۸	٪۵۰
۱,۲۹۰,۰۷۹,۶۲۶	۳۷۲۸۲۴۴۰۰۰۰.۰۰	۸۶۶۸۳۸۲۷۱.۰۷	۱۰۰۳۶۱۳۴۵۸.۸۵	٪۸۰
۱,۶۱۲,۵۹۹,۵۳۲	۴۶۶۰۳۰۵۰۰۰۰.۰۰	۱۰۸۳۵۴۷۸۳۸.۸۴	۱۲۵۴۵۱۶۸۲۳.۵۶	٪۱۰۰

منبع: محاسبات محقق

جدول ۷- مقایسه هزینه چرخه عمر در سناریو هی عدم تولید انرژی و تولید انرژی از فاضلاب

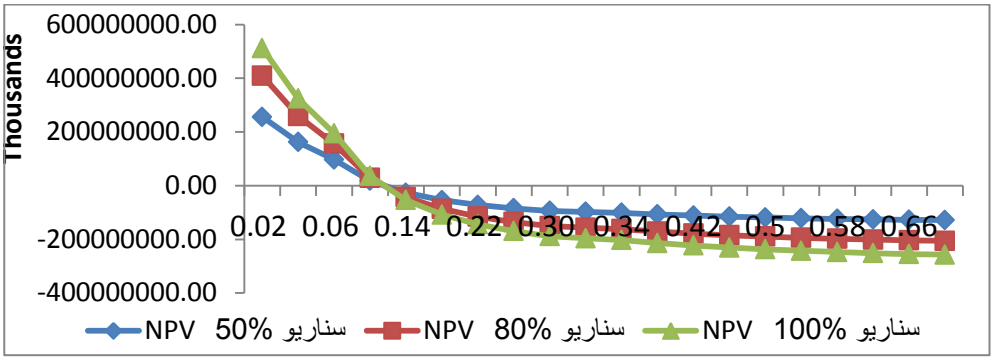
سناریو ب)مصرف برق تولیدی	سناریو الف) فروش برق تولیدی	حالت عدم بازیافت انرژی	سناریو ها جمعیتی
۳۲۸۸۸۷۴۱۲۳۰.۴۲	۱۷۴۱۹۴۲۲۷۷۴.۹۷	۲۲۱۳۲۴۹۲۶۶۸.۸۰-	٪۵۰
۵۲۶۲۱۹۸۵۹۶۸.۶۷	۲۷۸۷۱۰۷۶۴۳۹.۹۵	۳۵۴۱۱۹۸۸۲۷۰.۰۸-	٪۸۰
۶۵۷۷۷۴۸۲۴۶۰.۸۴	۳۴۸۳۸۸۴۵۵۴۹.۹۴	۴۴۲۶۴۹۸۵۳۳۷.۶۰-	٪۱۰۰

منبع : محاسبات محقق

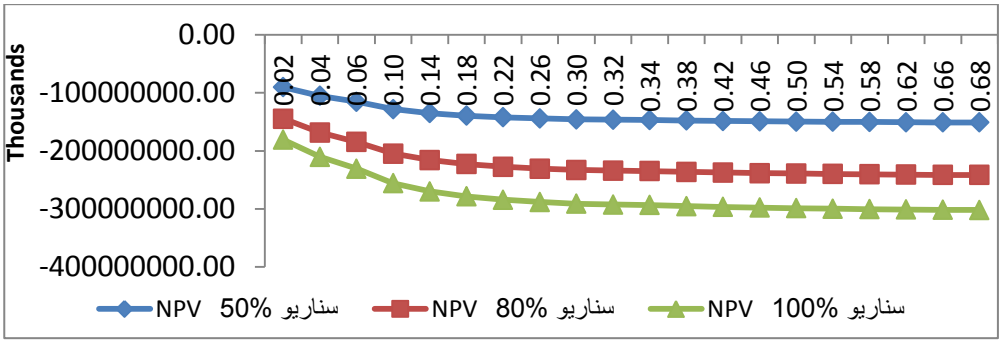
جدول ۸- ارزش فعلی خالص سناریو ها در حالت بازیافت انرژی

NPVسناریو ٪۱۰۰	NPVسناریو ٪۸۰	NPVسناریو ٪۵۰	نرخ تنزیل واقعی۰.۰۴
۳۲۴,۶۰۷,۳۸۶,۳۵۴.۸۵	۲۵۹,۶۸۵,۹۰۹,۰۸۳.۸۸	۱۶۲,۳۰۳,۶۹۳,۱۷۷.۴۲	سناریو الف
-۲۱۰۳۸۴۵۵۳۳۸۵.۵۰	-۱۶۸۳۰۷۶۴۲۷۰۸.۴۰	-۱۰۵۱۹۲۲۷۶۶۹۲.۷۵	سناریو ب
نرخ بازدهی داخلی و دوره بازگشت سرمایه و دوره بازگشت سرمایه متحرک و نسبت منافع به هزینه ها در سناریو ها			
B/C	PBP	DPBP	IRR	
۲.۱۱	۹ سال	۱۱ سال	۱۱.۴۶	سناریو الف
۰.۳۳	-	-	-	سناریو ب

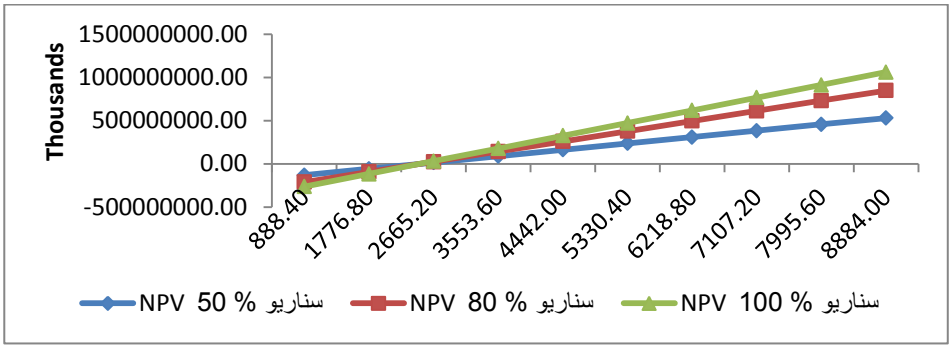
منبع : محاسبات محقق



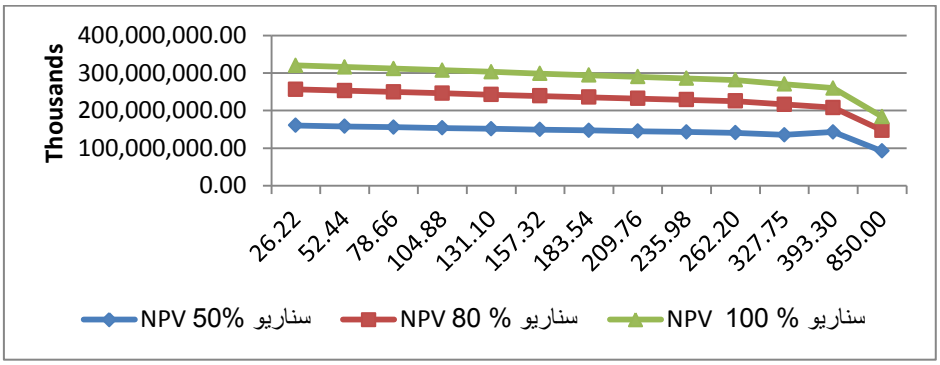
نمودار ۱- اثر تغییر نرخ بهره واقعی در ارزش فعلی خالص در سناریو الف) فروش برق تولیدی



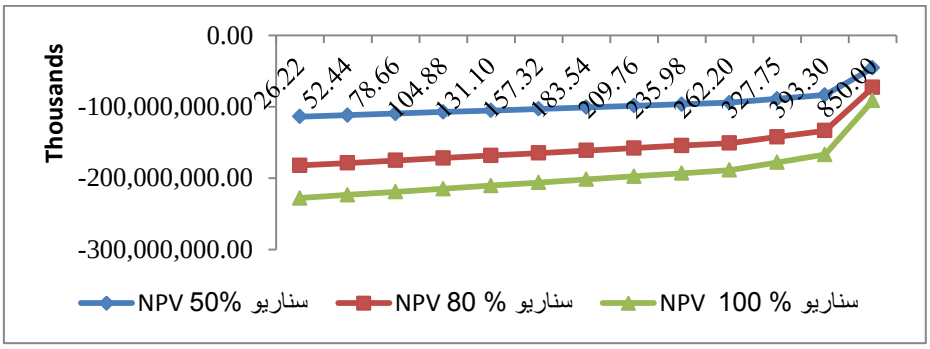
نمودار ۲- اثر تغییر نرخ بهره در ارزش فعلی خالص در سناریو ب) مصرف برق تولیدی



نمودار ۳- اثرتغییر قیمت فروش برق تولیدی بر ارزش فعلی خالص



نمودار ۴- اثر تغییر قیمت برق شبکه بر ارزش فعلی خالص در سناریو الف) فروش برق تولیدی



نمودار ۵- اثر تغییر قیمت برق شبکه بر ارزش فعلی خالص در سناریو ب) مصرف برق تولیدی