Archive of SID
DOI: 10.22059/IJBSE.2019.291155.665237

مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص ۲۱-۱۱)

Potential of Substituting Bagasse for Natural Gas in Karun Sugar Factory and Its Economic Evaluation

NAHID HASANAKI[1], YAGHOOB MANSOORI[1*], ABBAS ASAKEREH[1]

1. Department of Bio Systems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(Received: Oct. 23, 2019- Revised: Nov. 22, 2019- Accepted: Dec. 18, 2019)

ABSTRACT

The objective of the current study was to investigate the energy consumption in Karun Sugar Factory and to assess, economically and technically, the potential of substituting natural gas by bagasse as a source of energy. The necessary data were collected throughout the factory documents and the factory expert's interview during years 1395-1396. The results showed that the annual consumption of electricity and heat in the Karun sugar factory was 24 GWh and 890.83 tonnes steam respectively, which resulted in the emission of 195 tonnes of air pollutants with a social cost of 24.79 billion Rials. The net heat rate of the factory's power plant calculated to be 27.15 MJ/KWh. Using 270,000 tonnes of surplus bagasse, there is the potential to generate 15.14% of total sugar plant energy and reduce 29,000 tonnes of pollutants per year. The rate of return and return time of the capital needed for modification the current boilers was 88.95% and 2 years respectively. Using bagasse instead of natural gas leads to 30.6 Billion Rials reduction in variable costs of the factory based on financial data of the year 1395.

Keywords: Energy, Bagasse, Environmental, Rate of return, Sugarcane.

*Corresponding Author's Email: y.mansoori@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

پتانسیل جایگزینی باگاس به جای گاز طبیعی در کارخانه‌ی شکر کشت و صنعت کارون و بررسی اقتصادی آن

ناهید حسنکی[۱]، یعقوب منصوری[۱*]، عباس عساکره[۱]

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۱۶- تاریخ تصویب: ۹۸/۹/۲۷)

چکیده

هدف از این پژوهش، مطالعه وضعیت مصرف انرژی در کارخانه تولید شکر کشت و صنعت کارون و بررسی فنی و اقتصادی پتانسیل استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی است. اطلاعات مورد نیاز بر اساس سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد مصرف سالیانه انرژی برق و حرارت در کارخانه‌ی شکر کارون به ترتیب ۲۴ گیگاوات‌ساعت و ۸۹۰/۸۳ تن بخار (حرارت) بوده است که موجب انتشار ۱۹۵ تن آلاینده هوا با هزینه اجتماعی ۲۴/۷۹ میلیارد ریال شده است. نرخ گرمایی خالص نیروگاه شرکت ۲۷/۱۵ مگاژول بر کیلووات‌ساعت محاسبه شد. با استفاده از ۲۷۰ هزار تن باگاس مازاد، پتانسیل تولید ۱۵/۱۴ درصد کل انرژی کارخانه شکر و کاهش ۲۹ هزار تن آلاینده در سال وجود دارد. بر اساس سال پایه ۱۳۹۵، نرخ بازده سرمایه باگاس‌سوز کردن دیگ بخار شرکت، ۸۸/۹۵ درصد و دوره بازگشت سرمایه کمتر از دو سال با صرفه‌جویی ۳۰/۶۰ میلیارد ریال در سال به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، باگاس، زیست محیطی، نرخ بازگشت سرمایه، نیشکر

مقدمه

امروزه به‌رغم توسعه‌ی صنعتی و اقتصادی حاصل از سامانه‌های انرژی، وابستگی آن‌ها به سوخت‌های فسیلی و اثرات سوء آن‌ها بر محیط زیست، سبب تغییر در رویکرد و راهبردهای جوامع جهانی در جهت تأمین منابع تولید انرژی شده است (Afsharzade *et al*., 2016; Hanif *et al*., 2019). راهبردهای جدید در راستای کاهش تأثیرات زیست محیطی فعالیت‌های صنعتی توسعه یافته‌اند و به استفاده کارآمدتر از منابع انرژی و افزایش بهره‌وری و رقابت منجر شده‌اند (Contreras *et al*., 2009). یکی از این راهبردهای امیدوارکننده، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی است که می‌تواند سبب ایجاد تعامل بین انرژی و محیط زیست و افزایش امنیت انرژی شود (Faaij, 2006; Seabra & Macedo, 2011; Amiri *et al*., 2019). ایران به عنوان یکی از کشورهای حامی پیمان کیوتو با میانگین مصرف انرژی سالانه ۱۵۵ میلیون تن نفت خام در رده سیزدهم جهان قرار دارد و بیش از ۲۰ درصد این مقدار انرژی در بخش‌های صنعتی مصرف می‌گردد (Aslani *et al*., 2012). اخیراً میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور از محدودیت پروتکل کیوتو فراتر رفته و کشور ایران به عنوان دهمین کشور انتشاردهنده دی‌اکسید کربن در جهان معرفی شده است. این رویه با مفاد اصل مکانیسم توسعه پاک پروتکل همخوانی ندارد (Mohammadi *et al*., 2019). علی‌رغم این واقعیت، نرخ مصرف انرژی در ایران همچنان در حال افزایش است و طبق نظر بسیاری از کارشناسان، اگر روند فعلی مصرف انرژی بدین صورت ادامه یابد، کشور واردکننده عمده سوخت فسیلی خواهد شد. این موضوع نشان می‌دهد که ایران در مورد بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی با چالش‌های جدی روبرو خواهد شد. از سوی دیگر مصرف نامتعادل انرژی و استفاده از سامانه‌های انرژی ناپایدار که می‌تواند به توسعه ناپایدار منجر شود، نگرانی‌ها را افزایش داده است. این به نوبه خود، جنبه‌های مختلف توسعه اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی از جمله معیشت، دسترسی به آب، بهره‌وری کشاورزی، بهداشت، سطح جمعیت و غیره را تحت تأثیر قرار خواهد داد. از این رو، افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی در برنامه انرژی ایران مورد توجه ویژه قرار گرفته است (Afsharzade *et al*., 2016; Shakeel *et al*., 2016; Hanif *et al*., 2019).

صنعت شکر به عنوان یکی از قدیمی‌ترین صنایع ایران، یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های صنعتی در زمینه انرژی معرفی شده است. این صنعت که یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشاورزی است، به دلیل بالا رفتن هزینه تولید شکر، تحت فشارهای فزاینده‌ای قرار گرفته است. فشارها برای بهبود کارایی و متنوع سازی فعالیت‌های صنعتی در سطوح مزرعه و کارخانه، اقدامات متعددی را ضرورت بخشیده است. هدف نهایی این اقدامات، افزایش درآمد از طریق بهبود راندمان در تولید شکر و در عین حال کاهش هزینه تولید است. در حال حاضر صنعت شکر حاصل از گیاه نیشکر ایران،

* نویسنده مسئول: y.mansoori@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر نیازهای انرژی خود را از انرژی سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کند که آلوده‌کننده و هزینه‌بر هستند. (Mohammadi *et al*., 2019). از طرف دیگر، یکی از معضلات صنعت شکر ایران عدم مدیریت پسماندها، از جمله باگاس است. سالانه بیش از دو میلیون تن باگاس در کارخانه‌های نیشکر ایران به دست می‌آید که اغلب نه تنها ارزش افزوده‌ای را برای صنایع مختلف فراهم نمی‌کند، بلکه دارای ارزش مالی منفی است زیرا سالانه مقدار قابل توجهی باگاس با هزینه زیادی سوزانده و به خاکستر تبدیل می‌شود. از این رو این صنعت یکی از صنایع بسیار مؤثر بر محیط زیست است (Chauhan *et al*., 2011; Perez *et al*., 2013; Saadati & Hosseininezhad, 2019; Singh, 2019). باگاس، پسماند تولید شده در آسیاب‌های کارخانه‌های نیشکر می‌باشد که می‌توان آن را به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی مصرفی در صنعت شکر به کار گرفت (Beeharry, 2001; Ramjeawon, 2008; Gongora & Villafranco, 2018). در سطح بین‌المللی، استفاده از باگاس به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و به طور گسترده‌ای در دیگ بخار[1] برای تولید همزمان برق و حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه اکثر کارخانه‌های نیشکر مانند کارخانه‌های مناطق موریس[2]، هاوایی و آفریقای جنوبی علاوه بر تأمین نیاز انرژی خود برای تولید شکر خام، موفق به تولید برق قابل صادرات (یعنی برق که به شبکه ملی تزریق می‌شود) از احتراق باگاس شده‌اند (Baguant, 1984; Mbohwa & Fukuda, 2003; Janghathaikul & Gheewala, 2005; Botha & Blottnitz, 2006; Renouf *et al*., 2008; Alena & Sahu, 2013; Hiloidhari *et al*., 2018). از مزایای استفاده از باگاس به عنوان سوخت می‌توان به افزایش کارایی تولید شکر، کاهش هزینه‌های سوخت و افزایش بازده اقتصادی، افزایش بهره‌وری سوخت، افزایش تنوع و امنیت عرضه برق، افزایش اشتغال، کاهش تولید آلاینده‌ها به جهت بسته بودن سیکل تولید کربن، ایجاد خودکفایی نسبی تولید و پایداری توسعه اشاره کرد (Botha & Blottnitz, 2006; Purohit & Michaelowa, 2007; Restuti & Michaelowa, 2007; Masnadi *et al*., 2014; Galina *et al*., 2018; Mello *et al*., 2019).

با توجه به استفاده از باگاس به عنوان منبع سوخت کارخانه‌های تولید شکر در کشورهای تولیدکننده نیشکر و حجم بسیار زیاد باگاس تولیدی در کارخانه‌های نیشکر استان خوزستان، بررسی استفاده از باگاس جهت تأمین انرژی کارخانه‌های نیشکر کشور ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه به ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از باگاس نیشکر به جای گاز طبیعی در کارخانه‌ی شکر کشت و صنعت کارون به عنوان منبع انرژی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه

شرکت کشت و صنعت کارون به عنوان بزرگ‌ترین کارخانه‌ی تولید شکر ایران با ظرفیت اسمی ۲۰۰ هزار تن در سال در تاریخ ۲۰ مهر ۱۳۵۴ فعالیت خود را آغاز کرد. این شرکت در شمال استان خوزستان، ۱۷ کیلومتری جنوب غربی شهرستان شوشتر و در منطقه‌ای به نام دیمچه با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۲ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۶۰ تا ۸۰ متری از سطح دریا واقع شده است. این کشت و صنعت با مالکیت ۵۰ هزار هکتار از اراضی دارای شرکت‌های جانبی خوراک دام، پرورش ماهی، کاغذسازی، تولید فورفورال و نئوپان‌سازی است. در سال ۱۳۹۴ بیش از ۱۷ درصد شکر تولیدی کشور مربوط به این شرکت بوده است. میزان تولید کل شکر کشور در سال ۱۳۹۴ برابر با ۷۵۲۳ هزار تن بوده است (Anon, 2017).

داده‌ها و اطلاعات مقدار قلمه نیشکر وارد شده به کارخانه شکر، میزان استحصال نیشکر، مقدار باگاس تولیدی، میزان تولید و مصرف مواد اولیه (به خصوص باگاس) در صنایع تبدیلی و جانبی از آمار و اطلاعات موجود در دفاتر ثبت کشت و صنعت کارون بر اساس سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و میزان برق، حرارت و گاز طبیعی مصرفی کارخانه (سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶) از مرکز تحقیقات کشت و صنعت کارون به دست آمد. همچنین جهت اطمینان از صحت داده‌ها، میزان تولید نی و قلمه نیشکر از قسمت معاونت کشاورزی کشت و صنعت کارون در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ نیز جمع‌آوری گردید. روند تولید برق در نیروگاه کشت و صنعت کارون، نیروی انسانی لازم و نوع و تعداد تجهیزات مورد نیاز جهت تولید انرژی از باگاس به جای گاز طبیعی با بازدید حضوری از نیروگاه کارخانه شکر و مصاحبه با کارشناسان آن تعیین گردید. میزان انتشار آلاینده‌ها به ازای هر واحد سوخت مصرفی در کشاورزی و هزینه اجتماعی آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف حامل‌های انرژی از ترازنامه انرژی به دست آمد. برق مورد نیاز در بخش اداری، پمپ‌ها و بخش‌های جانبی از طریق شبکه سراسری و برای کارخانه‌ی شکر از طریق نیروگاه کشت و صنعت کارون تأمین می‌گردد. این نیروگاه که سوخت مصرفی آن گاز طبیعی است، به طور موازی به شبکه‌ی سراسری متصل و دائماً

1. Boiler
2. Mauritius

www.SID.ir

Archive of SID

در حال تبادل برق می‌باشد. نیروگاه شرکت کشت و صنعت کارون یک نیروگاه بخاری با چرخه رانکین است. به طور کلی حرارت تولید شده در کشت و صنعت به سه بخش اصلی آسیاب‌ها، تجهیزات دیگ‌های بخار و نیروگاه تولید برق انتقال می‌یابد. بخش اعظم حرارت تولید شده به طور مستقیم به صورت بخار در قسمت آسیاب‌ها و تجهیزات دیگ‌های بخار و مابقی آن در نیروگاه تولید برق به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه مقدار بخار مصرفی برای تولید برق، بر اساس میزان برق مورد استفاده در کارخانه محاسبه گردیده و بخار مورد استفاده در قسمت نیروگاه و یا برق تولید شده برای قسمت اداری و غیره را شامل نمی‌شود. مبنای محاسبات و داده‌ها برای یک سال زراعی در نظر گرفته شد که در این تحقیق برابر با تعداد روز فعالیت کارخانه نیشکر در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ (۱۹۱ روز) می‌باشد. همچنین قیمت‌ها، داده‌ها و محاسبات اقتصادی بر اساس پایه ۱۳۹۵ انجام گرفت. ارزش حرارتی گاز طبیعی، ۳۳/۹۴ مگاژول بر مترمکعب (Rezapour & Zarbakhsh, 2009) و معادل انرژی هر کیلووات‌ساعت برق، ۳/۶ مگاژول در نظر گرفته شد (Anon, 2016). ارزش حرارتی باگاس با رطوبت ۵۰ درصد بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده با بمب کالری‌متر در استان خوزستان برابر با ۸/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (Firozi *et al.*, 2008).

پتانسیل باگاس در دسترس جهت تولید انرژی

با توجه به این که باگاس به عنوان ماده اولیه در برخی صنایع اعم از نئوپان‌سازی و خوراک دام کاربرد دارد و نظر به این که این صنایع در کنار کشت و صنعت کارون فعالیت دارند، میزان باگاس در دسترس برای تولید انرژی، پس از کسر سهمیه این صنایع از میزان کل باگاس تولیدی حاصل می‌شود. علاوه بر این، شرکت بخش دیگری از باگاس تولیدی را دفع و یا با قیمت ناچیز به فروش می‌رساند. در این مطالعه دو وضعیت و حالت دسترسی به باگاس در نظر گرفته شد که وضعیت اول شامل باگاس پس از کسر سهمیه صنایع جانبی و وضعیت دوم شامل باگاس پس از کسر نیاز صنایع جانبی و مقدار فروش به صورت آزاد است.

پتانسیل تولید انرژی از حاصل‌ضرب پتانسیل باگاس در دسترس در ضریب و بازده فرآیند تبدیل باگاس به انرژی به دست آمد. بازده و ضریب تولید انرژی در فرآیند احتراق مستقیم (فرآیندی که در شرکت به کار برده می‌شود) به عوامل مختلفی مانند رطوبت باگاس، عملکرد دیگ بخار، کنترل‌ها و به طور کلی به فناوری مورد استفاده بستگی دارد. ضریب و بازده تبدیل باگاس به انرژی با استفاده از مقادیر باگاس مصرفی و انرژی تولیدی از آن در نیروگاه کشت و صنعت کارون تعیین و لحاظ شد. در سال ۱۳۹۵ یک خط تولید انرژی از باگاس در شرکت کارون راه‌اندازی شده است که به ازای هر تن باگاس مصرفی، ۰/۵ تن بخار تولید می‌کند که بر اساس آن بازده شرکت در تولید انرژی از باگاس برابر با ۰/۵ تن بخار به ازای هر تن باگاس مصرفی در نظر گرفته شد (انرژی هر تن بخار تولید شده در دیگ‌های بخار شرکت کارون معادل ۲۷۲۵/۱ مگاژول است). همچنین پتانسیل تولید انرژی بر اساس مقدار متداول بازده و ضریب تبدیل جهانی که برابر با دو تن بخار تولیدی به ازای هر تن باگاس مصرفی است، نیز جهت مقایسه و ارزیابی محاسبه گردید. در جدول ۱ هم ارز انرژی حامل‌های سوخت بیان شده است.

جدول ۱. هم ارز حامل‌های انرژی

حامل انرژی	واحد	هم ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	منبع
برق	کیلووات ساعت	۳/۶	Anon, 2016
گاز طبیعی	مترمکعب	۳۳/۹۴	Rezapour & Zarbakhsh, 2009
باگاس (رطوبت ۵۰٪)	کیلوگرم	۸/۰۱	Firozi et al., 2008

هزینه‌های متغیر جایگزینی باگاس به عنوان منبع انرژی

جهت محاسبه و مقایسه اقتصادی استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی نیروگاه کارخانه نیشکر، مواردی که نیاز به تغییر دارند مورد توجه واقع شدند. سایر موارد که برای هر دو سوخت یکسان هستند و تأثیری در محاسبات ندارند، در نظر گرفته نشدند. هزینه سوخت مهم‌ترین هزینه متغیر نیروگاه است که از حاصل‌ضرب حجم گاز مصرف شده در دیگ‌های بخار (در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶) به مترمکعب در هزینه خرید آن محاسبه گردید. از آنجایی که گاز طبیعی از طریق انشعابات گاز تأمین می‌شود، هزینه حمل و نقل وجود ندارد. در گام بعدی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات محاسبه شد. هزینه متغیر نیروگاه با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید (Manzoor & Rezaee, 2012).

$$SMC = [O\&M/(T \times CF)] + OC \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$CF = [P_T/(P_\mu \times T)] \times ۱۰۰ \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که SMC، هزینه‌های متغیر تولید برق توسط نیروگاه (ریال بر کیلووات ساعت)، O&M، هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات (ریال بر کیلووات)، CF، ضریب بهره‌برداری نیروگاه، P_T، کل انرژی تولید شده در نیروگاه در یک دوره مشخص به مگاوات ساعت (سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶)، P_μ، میانگین قدرت عملی نیروگاه در یک دوره مشخص زمانی (مگاوات)، T، زمان (ساعت در سال) و OC، هزینه‌ی سوخت تحویلی به نیروگاه (ریال بر کیلووات - ساعت) است.

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری خط تولید انرژی از باگاس

راه‌اندازی و بهره‌برداری خط تولید باگاس‌سوز در نیروگاه موجود باعث ایجاد هزینه‌های ثابتی همچون خرید دیگ بخار و تجهیزات جدید، هزینه کارگری و سامانه‌ی انتقال باگاس از کارخانه به دیگ بخار می‌شود. دیگ‌های بخار موجود در شرکت علاوه بر گازسوز بودن، قابلیت سوزاندن باگاس را نیز دارند. از این رو، نیازی به خرید دیگ بخار جدید نیست و سرمایه‌گذاری در بخش انجام اصلاحات دیگ بخار و خرید تجهیزات ملزوم لحاظ شد. سپس مجموع این هزینه‌ها به عنوان هزینه راه‌اندازی خط تولید با سوخت باگاس در نظر گرفته شد. جهت انتقال باگاس از کارخانه تا دیگ بخار از نقاله‌ها استفاده می‌شود. همچنین راه‌اندازی خط تولید سوخت زیستی نیازمند به‌کارگیری نیروی کار جدید می‌باشد که به عنوان هزینه نیروی انسانی در نظر گرفته شد. جهت محاسبه این هزینه از رابطه (۳) استفاده شد.

$$C_{TB} = C_1 + C_2 + C_3$$ (رابطه ۳)

که C_{TB}، هزینه راه‌اندازی واحد باگاس‌سوز (ریال)، C_1، هزینه اصلاحات دیگ بخار جهت باگاس سوز شدن (ریال)، C_2، هزینه خرید تجهیزات مورد نیاز (ریال) و C_3، هزینه نیروی کارگری (ریال) می‌باشد.

هزینه دفع باگاس

بخشی از باگاس به واسطه‌ی مصرف صنایع جانبی و فروش آزاد از کارخانه خارج می‌گردد. اما بخش دیگری از آن در محیط اطراف کارخانه جمع می‌شود که باید به محیط دیگری انتقال یابد زیرا تجمع باگاس در اطراف شرکت علاوه بر ایجاد بوی نامطلوب، سبب ایجاد خطر خود اشتعالی و آتش‌سوزی نیز می‌شود. انتقال باگاس در شرکت از طریق بارگیری مواد توسط نقاله‌ها به درون تریلی و حمل آن به محیط دیگری به صورت روزانه صورت می‌گیرد. هزینه دفع باگاس (CD) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$C_D=\sum_{i=1}^{n} CM_i \times N$$ (رابطه ۴)

در این رابطه CM، هزینه انتقال مواد (توسط ادوات و ماشین‌های حمل و نقل) بر حسب ریال در روز، n، تعداد ماشین‌ها و ادوات حمل و نقل و N تعداد روزهای کاری را نشان می‌دهد. این هزینه در هنگام استفاده از گاز طبیعی ایجاد می‌شود و در هنگام جایگزینی سامانه‌ی باگاس‌سوز با گازسوز این هزینه از بین می‌رود. از این رو این هزینه به عنوان پتانسیل صرفه‌جویی بخش سامانه‌ی باگاس‌سوز در نظر گرفته شد.

پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه اجتماعی

هزینه‌ی اجتماعی، هزینه‌ای است که اثرات تخریب‌کننده یا سوء یک آلاینده یا فعالیت بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان را برآورد می‌کند و اغلب هزینه‌ای است که در قیمت تمام شده در نظر گرفته نمی‌شود. پتانسیل انتشار آلاینده‌های نیروگاه کشت و صنعت بر اساس میزان گاز مصرفی و ضرایب انتشار آلاینده‌ها در ایران (جدول ۲) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد. هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌ها از حاصل‌ضرب مقدار انتشار آلاینده‌ها در هزینه اجتماعی هر واحد از آلاینده‌ها (جدول ۲) به دست آمد (Asakereh *et al*., 2016).

$$E_g = (FC \times EF)/10^6$$ (رابطه ۵)

جایی که E_g، میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای در کشت و صنعت کارون (تن)، EF، شاخص انتشار گازهای آلاینده ناشی از احتراق گاز طبیعی (گرم بر مترمکعب) و FC، مقدار سوخت مصرفی در دیگ‌های بخار کشت و صنعت کارون (مترمکعب) است. پتانسیل کاهش هزینه‌های اجتماعی در اثر استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی با استفاده از مقدار کاهش مصرف گاز طبیعی و رابطه (۵) محاسبه گردید .

جدول ۲. میزان انتشار و هزینه اجتماعی آلاینده‌های گاز طبیعی (Anon, 2016)

	NO_x	CO_2	SPM	CO	CH_4
هزینه اجتماعی (هزار ریال بر تن)	۶۰۰۰	۱۰۰	۴۳۰۰۰	۱۸۷۵	۲۱۰۰
شاخص انتشار (g/m^3)	۷/۸۳	۲۱۷۷/۵۲	۰/۲۳	۱/۶۵	۰/۰۳
شاخص انتشار (g/kwh)	۲/۵۴۸	۲/۴۵۵	۰/۱۳۵	۰/۶۹۵	۰/۰۱۷

ارزیابی اقتصادی استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی به عنوان منبع انرژی

جهت ارزیابی اقتصادی از شاخص نرخ بازده داخلی سرمایه[1]و دوره بازگشت سرمایه[2]استفاده گردید. نرخ بازده سرمایه، نرخ تنزیلی است که بر اساس آن، ارزش فعلی پروژه برابر با صفر می شود. در صورتی که این شاخص از نرخ هزینه سرمایه بزرگ‌تر باشد، اجرای پروژه توجیه اقتصادی دارد. جهت محاسبه نرخ بازده سرمایه از رابطه (۶) استفاده شد (Couper, 2003; Ozonoh *et al*., 2018).

$$NPV = -P + \sum_{j=1}^{r} \frac{CF_j}{(1+IRR)^j} = 0$$ (رابطه ۶)

1. Internal Rate of Return (IRR)

2. Payback Period (PP)

www.SID.ir

Archive of SID

که NPV، ارزش حال خالص، IRR، نرخ بازده داخلی سرمایه، P، هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری (سرمایه‌گذاری اولیه)، CF، فرآیند مالی در سال j‌ام و r عمر مفید پروژه است.

شاخص دوره بازگشت سرمایه، دوره‌ای که در آن مجموع درآمدهای سالیانه با هزینه سرمایه‌گذاری برابر می‌شود، را مشخص می‌کند هر چه این شاخص کوچک‌تر باشد بیانگر سرعت بیشتر جبران جریانات نقدی خروجی به وسیله‌ی جریانات نقدی ورودی می‌باشد و بنابراین پروژه از جذابیت بیشتری برای سرمایه‌گذاری برخوردار است. دوره بازگشت سرمایه از رابطه (۷) محاسبه گردید (Hasanuzzaman *et al*., 2011).

$$PP = \frac{CF}{P}$$ (رابطه ۷)

نتایج و بحث

انرژی مصرفی و پتانسیل تولید انرژی از باگاس در کارخانه شکر

مقدار قلمه نیشکر وارد شده به کارخانه‌ی شکر کشت و صنعت کارون در سال زراعی ۱۳۹۵- ۱۳۹۶، ۱۴۵۴ هزار تن بوده که از این مقدار ۱۴۰ هزار تن شکر و ۴۷۳ هزار تن باگاس تولید شده است. مصرف انرژی برق و حرارت در کارخانه‌ی شکر کارون به ترتیب ۲۴ گیگاوات ساعت و ۸۹۰/۸۳ تن بخار (حرارت) بوده است. از کل حرارت تولید شده به صورت بخار، ۷۹/۴۵ درصد به صورت مستقیم (بخار) در قسمت آسیاب‌ها و تجهیزات دیگ‌های بخار و ۲۰/۵۵ درصد آن در نیروگاه جهت تولید برق به کار گرفته شده است. نیروگاه شرکت به صورت موازی به شبکه برق سراسری متصل است و در تبادل با شبکه می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در واحد تحقیقات نیروگاه کشت و صنعت کارون، انرژی هر تن بخار تولید شده در دیگ‌های بخار این شرکت معادل ۲۷۲۵/۱ مگاژول می‌باشد. محاسبات نشان داد به ازای تولید هر تن بخار، ۱۰۰ مترمکعب گاز طبیعی و به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق، ۲۷/۱۵ مگاژول انرژی به صورت گاز طبیعی در نیروگاه کشت و صنعت کارون مصرف می‌شود. بنابراین بازده تولید برق و نرخ گرمایی خالص نیروگاه کشت و صنعت کارون در هنگام استفاده از گاز به عنوان منبع تولید انرژی به ترتیب برابر با ۱۳/۲۶ درصد و ۲۷/۱۵ مگاژول بر کیلوات‌ساعت است. میانگین نرخ گرمایی خالص نیروگاه‌های بخاری گازسوز کشور ۱۲/۰۲ مگاژول بر کیلووات ساعت می‌باشد در حالی که در ایالت متحده آمریکا ۸/۳۰ مگاژول بر کیلووات ساعت است (Anon, 2016). میزان نرخ گرمایی خالص با بازده نیروگاه رابطه‌ی عکس دارد و هرچه نرخ گرمایی خالص یک نیروگاه کمتر باشد آن نیروگاه بازده تولید بیشتری خواهد داشت. محاسبات نشان می‌دهد میزان مصرف انرژی برای تولید هر واحد برق در نیروگاه کشت و صنعت کارون ۲/۲۶ برابر میانگین کشور و ۳/۰۳ برابر ایالت متحده آمریکا است. کل انرژی مصرفی کارخانه شکر کارون ۲/۴۳ میلیون گیگاژول محاسبه شد.

نیروگاه بخاری کشت و صنعت کارون در هنگام استفاده از باگاس، به ازای تولید هر کیلووات ساعت، ۱۶ کیلوگرم باگاس با رطوبت ۵۰ درصد، معادل ۱۲۸/۱۶ مگاژول مصرف می‌کند. بر این اساس بازده تولید برق و نرخ گرمایی خالص نیروگاه کارون در هنگام استفاده از باگاس به عنوان منبع تولید انرژی ۲/۸ درصد و ۱۲۸/۱۶ مگاژول بر کیلووات ساعت محاسبه شد. نسبت تن بخار تولیدی به تن زیست‌توده‌ی مصرفی در نیروگاه کشت و صنعت کارون برابر با ۰/۵ به دست آمد که در مقایسه با کشورهای دیگر کمتر است. در کشور اتیوپی، مقدار تولید بخار از هر تن باگاس مصرفی با رطوبت ۵۰ درصد در دمای احتراق ۳۲۰ درجه سلسیوس دو تن بخار بیان شده است (Alena & Sahu, 2013). همچنین در کشور زیمباوه، نسبت تولید بخار به باگاس مصرفی را ۲/۲ تن بخار به ازای هر تن باگاس به دست آمده است (Mbohwa, 2003). بر اساس این نسبت‌ها، بازده نیروگاه کشت و صنعت کارون کمتر از ۲۵ درصد نیروگاه‌های مناطق ذکر شده است. مقایسه بازده نیروگاه کارون با نیروگاه‌های جهان نشان از کارایی پایین و عدم استفاده بهینه از منابع انرژی است. بازده متداول جهانی حدود چهار برابر بازده شرکت در تولید بخار است.

در وضعیت و حالت اول، باگاس در دسترس به عنوان منبع تولید انرژی پس از کسر سهمیه‌ی صنایع جانبی زیر نظر کشت و صنعت کارون، معادل ۲۷۰ هزار تن محاسبه شد. میزان فروش آزاد باگاس در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ حدود ۱۲۰ هزار تن بوده است. بنابراین در وضعیت دوم مقدار باگاس در دسترس ۱۵۰ هزار تن به دست آمد. در جدول ۳ پتانسیل تولید انرژی از باگاس بر اساس بازده شرکت و بازده متداول جهانی برای دو وضعیت نشان داده شده است.

با در نظر گرفتن وضعیت اول و با شرایط بازده شرکت، پتانسیل تولید ۱۵/۱۴ درصد کل انرژی کارخانه شکر وجود دارد. این مقدار انرژی می‌تواند به ترتیب ۷۰/۳۱ درصد برق و یا ۱۹/۰۷ درصد حرارت مورد نیاز کارخانه به شکل بخار را تأمین کند. میزان پتانسیل تولید انرژی از زیست‌توده در این وضعیت و حالت تحت بازده جهانی، برابر با ۶۰/۵۶ درصد کل انرژی تولیدی نیروگاه در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ است که به تنهایی برابر با ۲/۸۱ برابر برق تولیدی و یا ۷۶/۳۰ درصد حرارت مورد نیاز کارخانه به صورت بخار در آسیاب‌ها و تجهیزات دیگ‌های بخار است. در وضعیت دوم با در نظر گرفتن بازده فعلی نیروگاه کشت و صنعت کارون امکان تولید ۸/۴۱ درصد کل انرژی مصرفی کارخانه نیشکر وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

این مقدار انرژی برابر با ۳۹/۰۶ درصد کل برق مصرفی یا ۱۰/۶۰ درصد کل حرارت مورد نیاز کارخانه نیشکر به صورت بخار در آسیاب‌ها و تجهیزات دیگ‌های بخار است. این در حالی است که در شرایط بازده جهانی، پتانسیل تولید انرژی از باگاس انرژی چهار برابر می‌شود که به تنهایی پتانسیل تأمین انرژی برق بیش از نیاز مصرفی کارخانه شکر را دارد. در مطالعه‌ای که در کارخانه نئوپان‌سازی از باگاس نیشکر در شرکت دعبل خزاعی انجام داد، بیان شد که با استفاده از باگاس مازاد و ضایعات کارخانه نئوپان‌سازی شرکت دعبل خزاعی می‌توان ۴/۳۳ برابر کل انرژی گاز مصرفی در کارخانه نئوپان‌سازی را تأمین کرد. همچنین در این تحقیق مشخص گردید که با استفاده از باگاس مازاد شرکت دعبل خزاعی، امکان تأمین کل انرژی حرارتی و برق کارخانه نئوپان‌سازی وجود دارد (Alboativi, 2019). کارخانه‌های تولید شکر در جزایر موریس و هاوایی اولین گام‌ها را برای تولید انرژی برق با استفاده از باگاس نیشکر برداشتند و به ترتیب کارخانه‌های موریس و هاوایی به ترتیب ۲۶ و ۱۰ درصد از انرژی مورد نیاز خود را از سوزاندن باگاس در بویلر تأمین می‌کردند (Birru *et al.*, 2016). در سال ۲۰۰۹ میزان تولید برق مبتنی بر باگاس در کارخانه‌ها برزیل ۴/۶ گیگاوات ساعت بود که ۲۵ درصد از آن به شبکه ملی ارسال گردید و ۷۵ درصد دیگر جهت مصارف کارخانه‌های نیشکر به کار گرفته شد. از طرف دیگر در هند نیز میزان تولید انرژی در کارخانه‌ها شکر ۲۳۰۰ مگاوات ساعت بود که ۱۳۰۰ مگاوات ساعت آن به شبکه‌ی ملی تحویل داده شده است (Pellegrini & Junior, 2011).

جدول ۳. پتانسیل تولید انرژی از باگاس بر اساس و وضعیت دسترسی به باگاس و بازده مختلف نیروگاه

		حجم باگاس (هزار تن)	نسبت تن بخار تولیدی به تن باگاس مصرفی	پتانسیل تولیدی	
				هزار تن بخار	GJ
بازده شرکت	وضعیت اول	۲۷۰	۰/۵	۱۳۵	۳۶۷۸۸۸/۵
	وضعیت دوم	۱۵۰	۰/۵	۷۵	۲۰۴۳۸۲/۵
بازده جهانی	وضعیت اول	۲۷۰	۲	۵۴۰	۱۴۷۱۵۵۴
	وضعیت دوم	۱۵۰	۲	۳۰۰	۸۱۷۵۳۰

انتشار آلاینده‌ها و هزینه اجتماعی کارخانه شکر کارون

بر اساس بر اساس مقدار انرژی مصرفی کارخانه نیشکر (برق و گاز طبیعی) و شاخص انتشار آلاینده‌ها، مقدار انتشار آلاینده‌ها و هزینه اجتماعی آن‌ها در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ توسط نیروگاه کارون محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شد. کل آلاینده‌های منتشر شده در این سال حدود ۱۹۴/۸ هزار تن به دست آمد که از این مقدار ۹۹/۵۵ درصد آن مربوط به گاز کربنیک می‌باشد. مجموع کل هزینه اجتماعی سالانه نیز ۲۴/۷۹ میلیارد ریال محاسبه گردید. در مطالعه‌ای که در کارخانه نئوپان‌سازی کشت و صنعت دعبل خزاعی در سال ۱۳۹۶ انجام گرفت، مشخص گردید که پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌های هوا با استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی و برق برابر با ۲۶۵۲۱/۵ تن در سال است که هزینه اجتماعی آن‌ها برابر با ۳۰۷۱ میلیون می‌باشد (Alboativi, 2019).

جدول ۴ میزان انتشار و هزینه اجتماعی گازهای آلاینده در کارخانه شکر کارون

عنوان	NO_x	CO_2	SPM	CO	CH_4
میزان انتشار (تن)	۶۹۸/۲۱	۱۹۳۹۷۹/۳۲	۲۹/۲۱	۱۴۷/۸۷	۳/۴۴
هزینه اجتماعی (میلیارد ریال)	۴/۱۹	۱۹/۴۰	۰/۹۲	۰۰/۲۸	۰/۰۰۷

پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی

پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌ها و کاهش هزینه اجتماعی در نتیجه استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی بر اساس دو وضعیت دسترسی به باگاس و دو بازده (نیروگاه کارون و بازده متداول جهانی) محاسبه و در جدول ۵ نشان داده شد. پتانسیل کاهش تولید آلاینده‌ها در نتیجه استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی با شرایط موجود شرکت کارون برای وضعیت اول و دوم به ترتیب حدود ۲۹ و ۱۷ هزار تن آلاینده با هزینه اجتماعی در حدود ۳ و ۱/۹ میلیارد ریال در سال است. در صورتی که با شرایط بازده متداول در جهان و وضعیت اول، می‌توان هزینه‌های اجتماعی کارخانه شکر را به ۱۲/۲ میلیارد ریال کاهش داد (به نصف کاهش داد). مطالعه‌ای که در منطقه شعیبیه (در شهرستان شوشتر) به منظور بررسی پتانسیل تولید انرژی از بقایای زراعی و نیشکر انجام شد، نشان داد با تولید انرژی از بقایای مازاد بر مصرف دام و صنایع جانبی امکان کاهش انتشار ۶۶۸/۱ هزار تن آلاینده‌ها در سال وجود دارد (Asakereh *et al.*, 2014).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌ها و هزینه اجتماعی در نتیجه استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی

	بازده کارون		بازده جهانی	
	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۱	وضعیت ۲
پتانسیل تولید حرارت (هزار تن بخار)	۱۳۵	۷۵	۵۴۰	۳۰۰
عدم مصرف گاز (هزار مترمکعب)	۱۳۵۰۰	۷۵۰۰	۵۴۰۰۰	۳۰۰۰۰
پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌ها (هزار تن)	۲۹/۰۱	۱۶/۹۷	۱۱۶/۰۲	۶۷/۸۸
هزینه اجتماعی (میلیارد ریال)	۳/۰۶	۱/۸۸	۱۲/۲۴	۷/۵۳

هزینه‌های متغیر تولید انرژی از گاز طبیعی

هزینه‌های متغیر تولید برق و حرارت کارخانه‌ی شکر کارون با گاز طبیعی در سال زراعی۱۳۹۵-۱۳۹۶ به تفکیک در جدول ۶ نشان داده شده است. در این سال زراعی، میزان ۱/۹۳ میلیون گیگاژول انرژی جهت تأمین حرارت (به جز حرارت مورد نیاز برای تولید برق) مورد نیاز کارخانه نیشکر کارون با استفاده از ۶۹/۸۸ میلیون مترمکعب گاز طبیعی، تولید شد. شرکت هر مترمکعب گاز طبیعی را ۱۲۰۰ ریال خریداری کرده است. هزینه سوخت این بخش از تولید انرژی (تولید حرارت به صورت بخار جهت آسیاب‌ها و دیگر تجهیزات دیگ‌های بخار) معادل ۸۳/۸۶ میلیارد ریال (معادل ۴۴/۰۴ ریال بر مگاژول) محاسبه شد. هزینه متغیر تولید برق در نیروگاه بخاری کشت و صنعت کارون با گاز طبیعی شامل دو هزینه خرید سوخت و هزینه نگهداری و تعمیرات است. مقدار هزینه متغیر سالانه نیروگاه کشت و صنعت کارون جهت تولید برق با سوخت گاز طبیعی معادل ۲۴/۴۴ میلیارد ریال محاسبه شد که ۲۳/۰۴ میلیارد آن مربوط به هزینه سوخت بود. دلیل اصلی افزایش هزینه تولید برق در نیروگاه بخاری گازسوز، پرداخت هزینه برای تأمین سوخت گاز طبیعی است به طوری که ۹۴/۲۷ درصد از هزینه متغیر تولید برق در نیروگاه بخاری گازسوز مربوط به هزینه سوخت است. هزینه متغیر تولید هر کیلووات ساعت برق در نیروگاه کارون با مبلغ ۱۰۱۸/۳۶ ریال از هزینه خرید برق از شبکه که ۹۰۰ ریال است، بیشتر می‌باشد ولی به دلیل اینکه بخار خروجی توربین ژنراتورها، بخاری با فشار پایین بوده و در فرآیند تولید شکر خام و سفید به کار گرفته می‌شود، تولید برق در شرکت را توجیه‌پذیر کرده است.

جدول ۶. هزینه‌های متغیر تولید برق و حرارت کارخانه‌ی شکر کارون با گاز طبیعی (سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

هزینه		میلیارد ریال	ریال به ازای هر واحد انرژی	
			kWh	MJ
هزینه سوخت تولید حرارت (به غیر از برق)		۸۳/۸۶	-	۴۴/۰۴
هزینه تولید برق	هزینه سوخت تولید برق	۲۳/۰۴	۹۶۰	-
	هزینه نگهداری و تعمیرات	۱/۴۰	۵۸/۳۶	-
	کل هزینه تولید برق	۲۴/۴۴	۱۰۱۸/۳۶	۲۸۲/۸۷
هزینه اجتماعی		۲۴/۷۹	-	۱۰/۲۱
کل		۱۳۳/۰۹	-	۳۳۷/۱۲

نتایج نشان داد هزینه متغیر تولید برق و حرارت مورد نیاز شرکت با گاز طبیعی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ برابر ۱۳۳/۰۹ میلیارد بوده است که بیش از ۱۰۰ میلیارد ریال آن مربوط به هزینه تهیه سوخت است. جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین هزینه متغیر مربوط به هزینه تأمین حرارت مورد نیاز قسمت آسیاب‌ها و تجهیزات دیگ بخار می‌باشد که به علت مصرف بسیار زیاد انرژی در این بخش است. ولی هزینه تولید هر مگاژول انرژی برق بیشتر از هر مگاژول حرارت است. هزینه تولید هر مگاژول برق ۶/۴۲ برابر هزینه تولید هر مگاژول انرژی حرارتی است. دلیل اصلی این افزایش هزینه تولید برق در نیروگاه شرکت، بازدهی پایین نیروگاه و نوع توربین موجود در نیروگاه کشت و صنعت کارون می‌باشد که به ازای تولید هر مگاوات ساعت برق، هشت تن بخار نیاز دارد. از دیگر موارد قابل توجه هزینه اجتماعی است که تقریباً برابر با هزینه تولید برق در شرکت کارون است که هرچند توسط شرکت پرداخت نمی‌شود ولی هزینه آن به جامعه و کشور تحمیل می‌گردد.

هزینه‌های استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی

در این سامانه هزینه ثابت، مربوط به تجهیزات و یا تغییرات ایجاد شده در تبدیل سامانه تولیدی گازسوز به سامانه‌ی باگاس‌سوز و هزینه متغیر شامل هزینه نگهداری و تعمیرات است. هزینه

www.SID.ir

Archive of SID

سوخت به دلیل مجانی بودن باگاس در نظر گرفته نشد، زیرا باگاس مازاد در شرکت وجود دارد که این ماده سوزانده و یا با هزینه دفع می‌شود. هم اکنون مقداری از آن به عنوان سوخت نیز سوزانده می‌شود که هزینه‌ای برای کشت و صنعت ندارد. هزینه ثابت نیز شامل اصلاح دستگاه دیگ بخار به منظور باگاس سوز کردن به همراه خرید تجهیزات جدید نظیر لوازم جانبی آن مانند پمپ تخلیه‌ی خاکستر، نقاله‌ی انتقال باگاس، تجهیزات ابزار دقیق، پروانه و محور فن مکنده، پروانه فن کمکی باگاس‌سوزی و غیره می‌باشند. هزینه تجهیزات معادل ۳۳/۴ میلیارد ریال بر اساس قیمت سال پایه ۱۳۹۵ به دست آمد. همچنین با راه‌اندازی سامانه‌ی باگاس‌سوز، جهت بررسی و کنترل نقاله‌ها و همچنین کنترل تابلو برق، نه نفر نیروی انسانی به کار گرفته شده است. در سال ۱۳۹۵ هزینه هر نفر به کار گرفته شده در نتیجه استفاده از دیگ باگاس‌سوز در کشت و صنعت کارون برابر با ۲۰ میلیون ریال در ماه بوده است. بر اساس داده‌های دیگ بخار باگاس‌سوز شرکت کارون، هزینه نگهداری و تعمیرات نیروگاه برای سوخت باگاس همانند گاز طبیعی می‌باشد و به همین دلیل، این هزینه در بررسی اقتصادی جایگزینی سوخت سامانه در نظر گرفته نشد. در جدول ۷ هزینه‌های ناشی از استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی نشان داده شده است.

درآمدهای استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی

با توجه به داده‌های کشت و صنعت کارون و محاسبات انجام شده، هزینه دفع باگاس مازاد در این شرکت در سال ۱۳۹۵ معادل ۱۳/۵ میلیارد ریال بوده است. در صورتی که از کل باگاس مازاد به عنوان منبع سوخت استفاده شود، این هزینه صفر خواهد شد و به عنوان پتانسیل صرفه‌جویی در هزینه که خود نوعی درآمد است در نظر گرفته شد. همچنین در صورت استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی، هزینه سوخت به همان میزان کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل اینکه باگاس سوخت تجدیدپذیر است، هزینه‌های اجتماعی نخواهد داشت. از این رو هزینه سوخت و پتانسیل کاهش هزینه‌های اجتماعی به عنوان صرفه‌جویی در هزینه (درآمد) برای سامانه تولید انرژی از باگاس در نظر گرفته شد. در نهایت تولید برق و حرارت از سامانه‌ی باگاس‌سوز در شرایط بازده شرکت در دو وضعیت مختلف دسترسی به باگاس، بررسی گردید. در جدول ۷ درآمدهای حاصل از محل صرفه‌جویی‌های ناشی از استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی و همچنین دوره برگشت و نرخ بازده سرمایه نشان داده شده است. استفاده از باگاس به جای گاز طبیعی با در نظر گرفتن وضعیت اول و دوم به ترتیب ۳۰/۶۰ و ۲۲/۲۲ میلیارد ریال در سال، صرفه‌جویی در هزینه‌های متغیر خواهد داشت.

همان‌طور که از جدول ۷ مشاهده می‌شود با شرایط و بازده فعلی نیروگاه و کارخانه شکر کارون، نرخ بازده داخلی سرمایه باگاس سوز کردن دیگ بخار در وضعیت اول و دوم به ترتیب برابر با ۸۸/۹۵ و ۶۴/۵۹ درصد به دست آمد و دوره برگشت سرمایه در هر دو وضعیت کمتر از دو سال است. دوره برگشت سرمایه برای وضعیت اول و دوم به ترتیب ۱/۱ و ۱/۵ سال به دست آمد و حتی در صورتی که هزینه‌های اجتماعی در نظر گرفته نشود کمتر از دو سال خواهد بود (به ترتیب برابر با ۱/۲ و ۱/۶ سال خواهد بود). عدم نیاز به صرف هزینه جهت خرید باگاس و هزینه نسبتاً کم اصلاح دیگ بخار جهت باگاس‌سوز کردن دیگ بخار از دلایل اصلی اقتصادی بودن استفاده از باگاس می‌باشند. نرخ بازده داخلی بالاتر و مدت دوره‌ی برگشت سرمایه‌ی کوتاه‌تر در وضعیت اول نشان‌دهنده آن است که با افزایش مقدار باگاس، ارزش اقتصادی طرح باگاس‌سوز کردن افزایش می‌یابد. از این رو، بهره‌وری اقتصادی سامانه تولید انرژی با مقدار باگاس رابطه‌ی مستقیم دارد. بنابراین وضعیت اول از توجیه اقتصادی بالاتری برخوردار است ولی محدودیت این وضعیت برای زمانی است که میزان ارزش فروش آزاد باگاس بیشتر از ارزش صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید انرژی شود. در حال حاضر ارزش فروش باگاس بسیار ناچیز و تقریباً معادل هزینه بارگیری آن است.

جدول ۷. هزینه‌ها، صرفه‌جویی، نرخ بازده سرمایه و دوره برگشت استفاده از باگاس بر پایه سال ۱۳۹۵

	وضعیت اول	وضعیت دوم
هزینه ثابت	۳۳/۴۰	۳۳/۴۰
هزینه سالانه کارگری	۲/۱۶	۲/۱۶
پتانسیل سالانه صرفه‌جویی در هزینه سوخت	۱۶/۲۰	۹/۰۰
پتانسیل سالانه صرفه‌جویی هزینه اجتماعی	۳/۰۶	۱/۸۸
پتانسیل سالانه صرفه‌جویی هزینه دفع باگاس	۱۳/۵۰	۱۳/۵۰
پتانسیل سالانه صرفه‌جویی کل	۳۰/۶۰	۲۲/۲۲
نرخ بازده داخلی (درصد)	۸۸/۹۵	۶۴/۵۹
دوره‌ی بازگشت سرمایه (سال)	۱/۱	۱/۵

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

صنعت تولید شکر ایران یکی از صنایع پر مصرف انرژی است. شرکت کارون بزرگ‌ترین شرکت تولید شکر از نیشکر در ایران می‌باشد که انرژی مورد نیاز خود را از گاز طبیعی تأمین می‌کند. این امر موجب افزایش هزینه‌های تولید و نیز انتشار آلاینده‌ها شده است. این در حالی است که سالانه حجم زیادی باگاس در شکر بدون استفاده باقی می‌ماند و در نهایت طعمه حریق می‌شود. در این مطالعه به پتانسیل سنجی و ارزیابی اقتصادی تولید انرژی از باگاس به جای گاز طبیعی در کارخانه شکر کارون پرداخت شد. نتایج نشان داد که باگاس تولید شده در شرکت توانایی تأمین بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز کارخانه را دارد. باگاس تولیدی در شرایط فعلی می‌تواند به ترتیب ۷۰/۳۱ درصد برق و یا ۱۹/۰۷ درصد حرارت مورد نیاز کارخانه به شکل بخار را تأمین کند که سالانه موجب کاهش انتشار حدود ۲۹ هزار تن آلاینده هوا با هزینه اجتماعی ۳ میلیارد ریال می‌شود. بررسی اقتصادی نشان داد استفاده از باگاس به جای گاز ۳۰/۶۰ میلیارد ریال در سال بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۵، در هزینه‌های متغیر صرفه‌جویی ایجاد خواهد کرد. با شرایط و بازده فعلی نیروگاه و کارخانه شکر کارون، نرخ بازده داخلی سرمایه باگاس‌سوز کردن دیگ بخار برابر با ۸۸/۹۵ درصد است و دوره برگشت سرمایه ۱/۱ سال است. عدم نیاز به صرف هزینه جهت خرید باگاس و هزینه نسبتاً کم اصلاح دیگ بخار جهت باگاس‌سوز کردن دیگ بخار از دلایل اصلی اقتصادی بودن استفاده از باگاس می‌باشند. همچنین بررسی اقتصادی نشان داد با افزایش مقدار باگاس، ارزش اقتصادی طرح باگاس‌سوز کردن افزایش می‌یابد.

سپاسگزاری

از دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تامین مالی اجرای پژوهش که طی قرارداد پژوهانه شماره ۹۶/۳/۰۲/۱۶۶۷۰ صورت گرفته است، قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

Afsharzade, N. Papzan, A. Ashjaee, M. Delangizan, S. Passel, S. V. & Azadi, H. (2016). Renewable energy development in rural areas of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 743–755.

Alboativi, E. (2019). The potential of using sugarcane waste as energy in the process of particleboard production from sugarcane bagasse. MSc thesis. Shahid Chamran university of Ahvaz (In Farsi).

Alena, A. & Sahu, O. (2013). Cogenerations of energy from sugar factory bagasse. *Energy Engineering*, 1 (2), 22-29.

Amiri, Z. Asgharipour, M. R. Campbell, D. E. & Armin. M. (2019). A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Cleaner Production*, 20, 1051-1066.

Anonymous. (2016). Energy balance sheet of Iran. Iran ministry of energy, deputy of electricity and energy affairs (In Farsi).

Anonymous. (2016). U.S. Energy Information Administration (EIA). https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_08_01.html.

Anonymous. (2017). Statistics of sugar production from sugarcane. Iranian sugar factories syndicate (In Farsi).

Asakereh, A. Omid, M. Alimardani, R. & Sarmadian, F. (2014). Spatial analysis the potential for energy generation from crop residues in Shodirwan, Iran. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, 7(1), 275-284.

Asakereh, A. Soleymani, M. & Sheikh Davoodi, M. (2016). The role of solar power generation in energy security: case of ahwaz county. *Journal of Energy Planning and Policy Research*, 2(4), 105-142 (In Farsi).

Aslani, A. R. Naaranoja, M. & Antila, E. (2012). The feasibility study of prior renewable energy alternatives to private sector investment. *Renew Energy Res*, 5, 248–53.

Baguant, J. 1984. Electricity Production from the Biomass of the Sugarcane Industry in Mauritius. *Biomass*, 5, 283-297.

Beeharry, R. P. (2001). Carbon balance of sugarcane bioenergy systems. *Biomass and Bioenergy*, 20, 361–370.

Birru, B. Martin. A. & Erlich, C. (2016). Sugar Cane industry overview and energy efficiency considerations. *Industrial Engineering and Management*, 1-61.

Botha, T. & Blottnitz, H. V. (2006). A comparison of the environmental benefits of bagasse derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis. *Energy Policy*, 34, 2654–61.

Chauhan, M. K. Chaudhary, V. S. Samar, S. K. (2011). Life cycle assessment of sugar industry: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3445– 3453.

Contreras, A. M. Rosa, E. Perez, M. Langenhove, H. & Dewulf, J. (2009). Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. *Journal of Cleaner Production*, 17, 772–779.

Couper, J. R. (2003). Process Engineering Economics (Chemical Industries). CRC Press.

Faaij, A. P. C. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34, 322–342.

Firozi, A. Seiedlo, S. & Marzban, A. (2008). Determination of energy potential of sugarcane wastes. 4th National Congress on Waste

www.SID.ir

Archive of SID

Management, 21 Apr. Mashhad, Iran (In Farsi).

Galina, N. A. R. Luna, C. M. R. Arce, G. L. A. F. & Avila, I. (2018). Comparative study on combustion and oxy-fuel combustion environments using mixtures of coal with sugarcane bagasse and biomass sorghum bagasse by the thermogravimetric analysis. *Journal of the Energy Institute*, 3, 1-14.

Gongora, A. & Villafranco, D. (2018). Sugarcane bagasse cogeneration in Belize: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98, 58–63.

Hanif, I. Raza, S. M. F. Santos, P. G. D. & Abbas, Q. (2019). Fossil fuels, foreign direct investment, and economic growth have triggered CO_2 emissions in emerging Asian economies: Some empirical evidence. *Energy*, 171, 493-501.

Hasanuzzaman, M. Rahim, N. A. Saidur, R. & Kazi, S. N. (2011). Energy savings and emissions reductions for rewinding and replacement of industrial motor. *Energy*, 36, 233-240.

Hiloidhari, M. Araujo, K. Kumari, S. h. Baruah, D. C. Ramachandra, T. V. Kataki, R. & Thakur, I. S. (2018). Bioelectricity from sugarcane bagasse co-generation in India–An assessment of resource potential, policies and market mobilization opportunity for the case of Uttar Pradesh. *Journal of Cleaner Production*, 182, 1012-1023.

Janghathaikul, D. & Gheewala, S. H. (2005). Environmental assessment of power generation from bagasse at a sugar factory in Thailand. *Energy*, 6 (1), 57-66.

Manzoor, D. & Rezaee, H. (2012). Calculating Electricity Shadow Price in Iranian Power Market. *Journal of Economic Modeling Research*, 2(6): 155-172 (In Farsi).

Masnadi, M. S. Habibi, R. Kopyscinski, J. Hill, J. M. Bi, X. Lim, C. J. Ellis, N. & Grace, J. R. (2014). Fuel characterization and co-pyrolysis kinetics of biomass and fossil fuels. *Fuel*, 117, 1204–1214.

Mbohwa, C. & Fukuda, S. H. (2003).Electricity from bagasse in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, 25: 197 – 207.

Mbohwa, C. h. (2003). Bagasse energy cogeneration potential in the Zimbabwean sugar industry. *Renewable Energy*, 28, 191–204.

Mello, F. M. D. Cruz, A. J. G. D. & Sousa R. D. (2019). Fuzzy Control Applied to Combustion in Sugarcane Bagasse Boilers. *Computer Aided Chemical Engineering*, 46, 1135-1140.

Mohammadi, F. Roedl, A. Abdoli, MA. Amidpour, M. & Vahidi, H. (2019). Life cycle assessment (LCA) of the energetic use of bagasse in Iranian sugar industry. *Renewable Energy*, 145, 1870-1882.

Ozonoh, M. Aniokete, T. C. Oboirien, B. O. & Daramola, M. O. (2018). Techno-economic analysis of electricity and heat production by cogasification of coal, biomass and waste tyre in South Africa. *Journal of Cleaner Production*, 201, 192-206.

Pellegrini, L. F., Junior, S. (2011). Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization. *Energy*, 36, 3704-3715.

Perez, M. Contreras, A. M. & Dominguez, E. R. (2013). Life cycle assessment of the cogeneration processes in the Cuban sugar industry. *Journal of Cleaner Production*, 41, 222-231.

Purohit, P. & Michaelowa, A. (2007). CDM potential of bagasse cogeneration in India. *Energy Policy*, 35, 4779–4798.

Ramjeawon, T. (2008). Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1727-1734.

Renouf, M. A. Wegener, M. K. & Nielsen, L. K. (2008). An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1144–55.

Restuti, D. & Michaelowa, A. (2007). The economic potential of bagasse cogeneration as CDM projects in Indonesia. *Energy Policy*, 35, 3952–3966.

Rezapour, K. & Zarbakhsh, M. H. (2009). The principles of energy saving and management. Energy efficiency organization. Menestry of energy, Iran (In Farsi).

Saadati, M. & Hosseininezhad, S. J. (2019). Designing a hub location model in a bagasse-based bioethanol supply chain network in Iran (case study: Iran sugar industry). *Biomass and Bioenergy*, 122, 238–256.

Seabra, J. E. A. & Macedo, I. C. (2011). Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazil. *Energy Policy*, 39, 421–428.

Shakeel, S. R. Takala, J. & Shakeel, W. (2016). Renewable energy sources in power generation in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 421–434.

Singh, O. K. (2019). Exergy analysis of a grid-connected bagasse-based cogeneration plant of sugar factory and exhaust heat utilization for running a cold storage. *Renewable Energy*, 143, 149-163.

www.SID.ir