

# امکان‌سنجی استفاده از فضولات جامد گاوی برای تولید برق در بخش کشاورزی شهرستان مشهد و تأثیر آن بر کاهش آلاینده‌های محیط زیست در افق ۱۴۱۴ شمسی

سید حنیف‌رضا معتمد الشریعتی<sup>۱\*</sup>، حسین موبلی<sup>۱</sup>، محمد شریفی<sup>۱</sup>، سعید ظریف نشاط<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶

۱- گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [hr\\_motamed@ut.ac.ir](mailto:hr_motamed@ut.ac.ir)

## چکیده

زندگی انرژی‌بر بشر امروزی باعث شده است تا منابع مختلف تأمین انرژی مورد بررسی و استفاده قرار بگیرند. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید پراکنده برق با توجه به هزینه بر بودن احداث خطوط انتقال برق در نقاط دور دست که دسترسی به آنها دشوار است، همچنین حفظ محیط زیست و کاهش آلودگی، اهمیت فراوانی دارد. یکی از این منابع، زیست توده (بیوماس) است که فضولات جامد گاوی یکی از زیر مجموعه‌های آن است. در این تحقیق ابتدا تعداد گاوهای شهرستان مشهد تخمین زده شد. سپس میزان برق مصرفی در بخش کشاورزی، برای ۱۴۱۴ شمسی تخمین زده شد. در نهایت با توجه به انرژی قابل استحصال از فضولات جامد گاوی، سهم تأمین انرژی بخش کشاورزی به دست آمد. برای شهرستان مشهد، در سال ۱۴۱۴ تولید برق از فضولات جامد گاوی حدود ۶۷۹۷ مگاوات‌ساعت و انرژی مورد نیاز برای بخش کشاورزی ۱۲۳۴۲۰۱۹ مگاوات‌ساعت تخمین زده شد که تأمین انرژی با کمک فضولات جامد گاوی کمتر از یک دهم درصد انرژی مورد نیاز است. لذا بهتر است از این منبع انرژی در تولید حرارت مورد نیاز و با تولید پراکنده برق استفاده شود و سایر منابع زیست توده نیز برای تأمین انرژی، مورد بررسی و استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، انتشار کربن، انرژی تجدیدپذیر، زیست توده، زیست گاز

## Feasibility Study of Using Cow Dung to Generate Electricity for Agricultural Sector in Mashhad County and its Impact on Decreasing Environmental Pollutions in 2035

Seyed Hanifreza Motamed Alshariati<sup>1\*</sup>, Hossein Mobli<sup>1</sup>, Mohammad Sharifi<sup>1</sup>, Saeed Zarifneshat<sup>2</sup>

Received: 7 Dec 2022

Accepted: 17 Mar 2023

1- Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Department of Agricultural Engineering Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

\*Corresponding author: [hr\\_motamed@ut.ac.ir](mailto:hr_motamed@ut.ac.ir)

## Abstract

Today's energy-intensive human life, caused investigating different sources of energy supply. It is extremely important to use renewable energy sources to generate scattered electricity, due to the high cost of electricity transmission lines, and also necessity of pollution reduction and environmental protection. One of the sustainable energy resources is biomass, which cow dung is a subset of it. In this study, the number of the cows in the Mashhad County were estimated. Also, the electricity consumption in agricultural sector of Mashhad County was estimated for the year 2035. Finally, according to the available energy from cow dung, the possible energy supply was calculated for agricultural sector of the region. Electricity production from cow dung and energy needed in agricultural sector for Mashhad was estimated to be 6797 and 12342019 MWh, in 2035, respectively. Therefore, the amount of energy from cow dung is less than 0.1 percent of the energy needed. This source of energy (cow dung) is recommended for producing thermal use or scattered electricity. The use of other sources of biomass could be a solution to provide some part of energy demand from clean resources.

**Keywords:** Biogas, Biomass, CO<sub>2</sub> emission, Pollution, Renewable energy

## How to cite:

Motamed Alshariati, S.H., Mobli, H., Sharifi, M., and Zarifneshat, S. 2023. Feasibility study of Using Cow Dung to Generate Electricity for Agriculture Sector in Mashhad County and its Impact on Decreasing Environmental Pollutions in 2035. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (4): 35-42.

## ۱- مقدمه

با پیشرفت جوامع و فناوری‌های مختلف که باعث راحتی زندگی و آسان شدن کارها شده‌اند، میزان تقاضای انرژی و مصرف آن در جهان گسترش یافته است به طوری که در ۲۰۰ سال اخیر شاهد افزایش چشم‌گیر مصرف انرژی در سراسر جهان بوده‌ایم که موجب کاهش منابع فسیلی و افزایش قیمت آن، رشد سریع‌تر انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش آلودگی هوا و تغییر اقلیم شده است. مسایل زیست محیطی مانند افزایش گازهای گلخانه‌ای مهم‌ترین و اساسی‌ترین دلیل برای حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر است (Tukenmez & Demireli, 2012). منابع انرژی تجدیدپذیر قابل دستیابی که امروزه از آنها به‌عنوان انرژی پاک یاد می‌شود شامل باد، خورشید، آب، ضایعات (کشاورزی، شهری و صنعتی)، زمین گرمایی، انرژی کشندی (جزر و مد) دریا، انرژی گرمایی اقیانوس، انرژی امواج دریا و انرژی مغناطیسی زمین می‌باشند (Fadai, 2007).

انرژی الکتریکی مهم‌ترین شکل انرژی مورد مصرف در زندگی ما می‌باشد به طوری که امروزه زندگی بدون وجود برق، تقریباً غیرممکن است. جابه‌جایی، ذخیره، توزیع و کنترل برق بسیار راحت‌تر، سریع‌تر، امن‌تر و ارزان‌تر از انرژی‌های دیگر صورت می‌گیرد. بخش کشاورزی (زراعی، باغی، دامپروری و شیلات) به‌عنوان اصلی‌ترین تولیدکننده مواد غذایی در کشور، نه تنها ارایه دهنده انرژی خوراکی می‌باشد بلکه یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی نیز محسوب می‌شود. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی، به‌ویژه برای تأمین برق مورد نیاز در دامپروری‌ها، گلخانه‌ها و پمپ‌چاه‌های آب، یک ضرورت به‌شمار می‌رود. انرژی زیست‌گاز<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که پتانسیل مناسبی جهت تولید برق در کشورمان دارد. کاهش و یا رفع مشکلات زیست محیطی حاصل از رهاسازی منابع زیست‌توده در طبیعت (مخصوصاً فضولات)، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، امکان تولید انرژی در محل مصرف (تولید پراکنده)، کاهش تلفات شبکه توزیع و انتقال انرژی برق، امکان تحویل بسیار راحت انرژی به‌صورت برق و ... از مزایا و ضرورت‌های استفاده از این منبع انرژی تجدیدپذیر می‌باشند (Anonymous, 2014).

سوزاندن مستقیم<sup>۲</sup> و تبدیل کردن به گاز<sup>۳</sup> دو فناوری رایج استفاده از زیست‌توده برای تولید گرما و برق می‌باشد (Mondal & Denich, 2010). گرچه بازده تولید انرژی از روش سوزاندن مستقیم بین ۱۰ تا ۴۰ درصد با توجه به روش کار و دستگاه مورد استفاده متغیر است، اما در روش‌های متداول بازده ۳۰ درصد در نظر گرفته می‌شود که استفاده از روش ترکیب توان و حرارت<sup>۴</sup>، موجب افزایش بسیار زیاد بازده تا ۸۶ درصد و بیشتر خواهد شد (Demirbas et al., 2009; Karaj et al., 2009). زیست‌گاز ترکیبی از متان، دی‌اکسیدکربن و سایر گازها است که ارزش گرمایی آن حدود ۲۵ مگاژول بر مترمکعب،

معادل یک کیلوگرم زغال‌سنگ خام و ۰/۷۶ کیلوگرم زغال‌سنگ فرآوری شده می‌باشد. اجزاء تشکیل دهنده زیست‌گاز در جدول ۱ آورده شده است (Rehling, 2001). منابع زیست‌توده قابل استحصال برای تولید زیست‌گاز به پنج گروه ضایعات و پس‌ماندهای کشاورزی و صنایع وابسته، ضایعات جامد شهری، پس‌آب شهری، فضولات دامی و ضایعات جامد و مایع فسادپذیر صنعتی (لجن صنعتی) تقسیم می‌شوند (Omran, 1997). یکی از مهم‌ترین نتایج استفاده از زیست‌توده برای تولید زیست‌گاز، کاهش انتشار گاز متان است. هر تن گاز متان در یک دوره ۱۰۰ ساله، معادل ۲۱ تن گاز دی‌اکسیدکربن بر گرمایش آب و هوای جهانی اثر می‌گذارد و به‌همین ترتیب هزینه‌های محیط زیستی آن نیز ۲۱ برابر خواهد بود ( Yazdandad et al., 2011).

جدول ۱- ترکیب زیست‌گاز

Table 1. Composition of Biogas

میان	CH <sub>4</sub>	55-65%
Methane		
دی‌اکسیدکربن	CO <sub>2</sub>	35-45%
Carbone dioxide		
ازت	N <sub>2</sub>	0-3%
Nitrogen		
هیدروژن	H <sub>2</sub>	0-1%
Hydrogen		
اکسیژن	O <sub>2</sub>	0-1%
Oxygen		
سولفید هیدروژن	H <sub>2</sub> S	0-1%
Hydrogen sulfide		

استفاده اقتصادی از فضولات جامد گاوی برای تولید برق به عواملی مانند قیمت فروش، نرخ بهره، بیمه، حمایت‌های دولت و فروش فرآورده‌های جانبی این فرآیند بستگی دارد (Wang et al., 2011) هر چند کودی که از هر ناحیه برای تولید برق به‌دست می‌آید دارای خصوصیات مخصوص به خودش است (Ashraf et al., 2021) به طوری که حتی جیره غذایی گاو نیز در مقدار زیست‌گاز تولید شده اثر دارد (Thiangchanta et al., 2022). در تحقیقی که روی فضولات گاوی با مقدار شش مترمکعب در روز صورت پذیرفت، سه عامل بیشینه کردن مقدار زیست‌گاز، کمینه کردن حجم راکتور تولید گاز و دستیابی به توان بیشتر مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفت. مناسب‌ترین شرایط ۶/۱ روز زمان ماند فضولات گاوی در دمای ۳۵/۹ درجه سلیسیوس و تولید ۴۹/۸ مگاوات‌ساعت برق در سال شناخته و معرفی گردید. در نهایت بیان شد چنانچه زمان ماند فضولات بیشتر باشد، نتایج بهتری از نظر انرژی قابل استحصال به‌دست خواهد آمد (Haugen et al., 2015) به‌صورتی که تحت شرایط مزوفیلیک در ۳۷ روز، بیشترین زیست‌گاز تولیدی از ترکیب بقایای ذرت و فضولات

<sup>3</sup> Gasification<sup>4</sup> Combined Heat and Power (CHP)<sup>1</sup> Biogas<sup>2</sup> Direct combustion

جامد گاوی (به نسبت ۱:۱/۵۵) مقدار ۶/۱۹ لیتر گزارش شد (Chukwuka-Iweka et al., 2021). در تحقیق دیگری که در کشور برزیل صورت گرفت هزینه تولید برق با موتورهای درون‌سوز با زیست‌گاز ۰/۲۳۸۴ و با سامانه‌های CHP در همان شرایط ۰/۰۹۷۴ دلار برای هر کیلووات‌ساعت گزارش شد و این در حالی بود که کاهش میزان انتشار دی‌اکسیدکربن برای یک سال شش تا ۱۴/۵ درصد میزان عادی (قبل از تبدیل بیوماس به زیست‌گاز) گزارش گردید (Oliveira et al., 2021). مشابه آن در تحقیق دیگری کاهش میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتج از به‌کارگیری زیست‌گاز در سامانه‌های CHP در هر سال ۱۴۱۰۵ تن ذکر شد (Akbulut et al., 2021). ترکیب فضولات جامد گاوی، جاتروفا و براده‌های آهن توانایی بسیار خوبی در تولید زیست‌گاز نشان داد به طوری که در چهار هفته اول، زیست‌گاز تولید شده ۵۹ میلی‌لیتر به ازاء هر کیلوگرم مواد ترکیبی، و در هفته پنجم با جهش تقریبی شش برابر، در حدود ۳۵۰ میلی‌لیتر گزارش گردید (Adekunle et al., 2019). نتایج یک تحقیق نشان داد اضافه کردن فضولات جامد گاوی به ضایعات آلی شهری، باعث افزایش مقدار زیست‌گاز و افزایش سرعت فرآیند تولید می‌شود و در واقع به‌عنوان نوعی کاتالیزور عمل می‌کند (Abbas et al., 2023).

$$BP = \sum_1^n DM \times FR \times FVS \times BY \quad (1)$$

که در این رابطه  $BP$  مقدار تولید زیست‌گاز (مترمکعب)،  $DM$  مقدار ماده خشک به ازاء هر رأس دام (کیلوگرم)،  $FR$  ضریب قابل بازیابی برای هر رأس دام،  $FVS$  ضریب مواد جامد فرار (کیلوگرم مواد جامد فرار بر کیلوگرم ماده خشک دام)،  $BY$  تولید زیست‌گاز به ازاء هر کیلوگرم مواد فرار (مترمکعب) و  $n$  تعداد رأس دام است.

## ۲-۲- پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌های جوی

برای محاسبه پتانسیل کاهش انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه‌های اجتماعی آن در اثر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر از روابط (۲) و (۳) استفاده شد (Asakere, 2014).

$$D_{ki} = \frac{\sum C_{ki} q_i}{1000} \quad (2)$$

که در آن،  $D_{ki}$  مقدار پتانسیل کاهش انتشار آلاینده  $k$  از سوخت فسیلی  $i$  معادل پتانسیل تولید انرژی تجدیدپذیر بر حسب کیلوگرم،  $C_{ki}$  شاخص انتشار آلاینده  $k$  به ازای هر واحد مصرف سوخت فسیلی  $i$  بر حسب گرم بر لیتر یا مترمکعب و  $q_i$  مقدار مصرف سوخت فسیلی  $i$  معادل پتانسیل تولید انرژی تجدیدپذیر بر حسب لیتر یا مترمکعب می‌باشد.

$$D_{ke} = \sum (1 + \frac{L_e}{1000}) C_{ke} E_e \quad (3)$$

که در آن،  $D_{ke}$  مقدار پتانسیل کاهش انتشار آلاینده  $k$  از برق مصرفی معادل پتانسیل تولید آن از منابع تجدیدپذیر بر حسب کیلوگرم،  $L_e$  درصد کل هدر رفت که شامل مصرف داخلی نیروگاه‌ها، انتقال و توزیع برق است،  $C_{ke}$  شاخص انتشار آلاینده  $k$  به ازای هر واحد تولید برق (کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت) و  $E_e$  مقدار مصرف برق معادل پتانسیل تولید از منابع تجدیدپذیر بر حسب کیلووات‌ساعت است. شاخص انتشار آلاینده‌های هوا برای تولید برق در جدول ۲ آمده است (Anonymous, 2011).

در پژوهشی که بر روی فضولات گاو شیری و طیور در سطح استان خراسان رضوی صورت گرفت، پتانسیل تولید زیست‌گاز در سطح استان ۹۴/۱۹۸ میلیون مترمکعب و تولید انرژی ۲۰۳۵ تراژول برآورد گردید. در صورت استفاده از پتانسیل موجود، ۱۳ درصد کل گاز مصرفی در بخش کشاورزی قابل تأمین است که سالانه از انتشار ۸۲/۳۵ هزارتن معادل دی‌اکسیدکربن جلوگیری می‌کند (Aminian et al., 2013; Shafiee et al., 2013). طبق گزارش‌ها در سال ۱۳۹۰ حدود ۵/۵۳ گیگاوات ساعت برق از نیروگاه‌های زیست‌گاز در کشور تولید شده است (Anonymous, 2011). برای موفقیت در به‌کارگیری فناوری بیوگاز در ایران نیاز به مقدماتی همچون توسعه منابع انسانی، جهت‌گیری ذهنی، ویژگی‌های فنی و تکنیکی، اقتصادگرایی و تطابق محیطی می‌باشد (Izadi et al., 2020). با توجه به موارد ذکر شده و ضرورت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه زیست‌توده، انجام پژوهش‌هایی جهت تعیین میزان انرژی قابل استحصال در بخش‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، مقدار زیست‌گاز قابل تولید از گاوهای دامداری‌های شهرستان مشهد، جهت تولید برق مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- پتانسیل تولید زیست‌گاز از گاوداری‌ها

از فضولات گاوی می‌توان زیست‌گاز تولید کرد. مقدار تولید فضولات

جدول ۲- شاخص انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه اجتماعی تخریب محیط زیست  
Table 2. Air pollutants emission index and social cost of environmental destruction

CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	SPM	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	واحد Unit	شاخص Index
0.018	716.178	0.135	0.653	3.119	2.792	گرم بر کیلووات ساعت g/kWh	برق فسیلی Fossil electricity
1.121	2378.978	1.300	349.998	1.500	13.500	گرم بر لیتر g/L	بنزین Petrol
0.135	2872.829	8.267	4.384	14.612	21.771	گرم بر لیتر g/L	گازوئیل Gasoline
0.104	2489.212	-	0.745	2.294	0.501	گرم بر لیتر g/L	نفت سفید Kerosene
0.125	3860.305	1.000	3.740	50.734	9.636	گرم بر لیتر g/L	نفت کوره Fuel oil
0.141	2095.619	0.205	0.727	0.005	3.953	گرم بر مترمکعب g/m <sup>3</sup>	گاز طبیعی Natural gas
1680	80	34400	1500	14600	4800	هزار ریال بر تن kRial/ton	هزینه تخریب Destruction cost

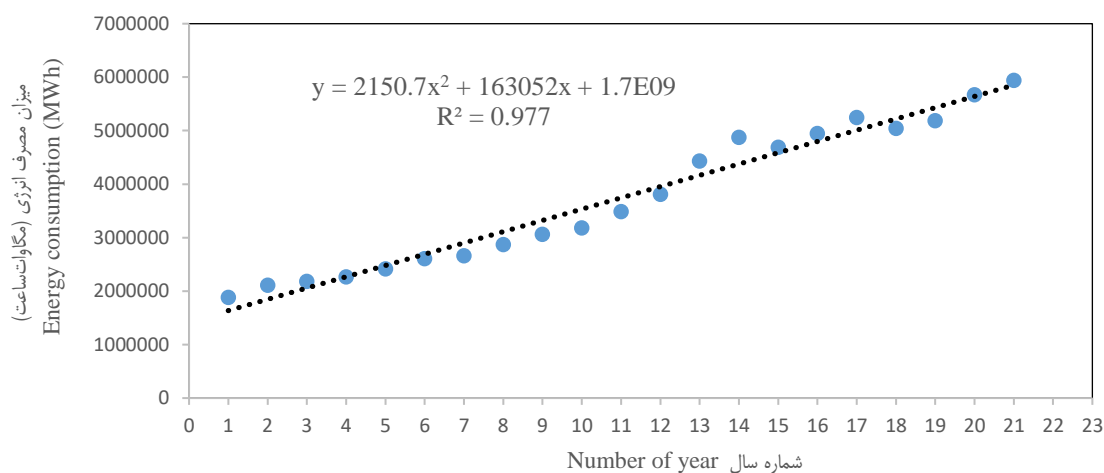
کافی در اختیار نیست تا بتوان این فاصله زمانی (حدود ۲۰ سال) را پوشش دهد. بنابراین بهترین روش برای این موضوع استفاده از رابطه رگرسیون الگوی مصرف قبلی برای مصرف برق در هر سال می‌باشد. با توجه به داده‌های میزان مصرف برق در سال‌های مختلف، رابطه رگرسیونی در شکل ۱ مشخص گردید. با توجه به داده‌ها، ضریب تبیین برای این برازش ۰/۹۷۷ به دست آمد که بسیار قابل قبول است. یادآوری می‌شود که برای این معادله نیز، حالت‌های مختلف (درجه دوم، سوم، چهارم، لگاریتمی و نپرین) مورد آزمون قرار گرفت و مناسب‌ترین برازش در معادله درجه دوم با ضریب تبیین (۰/۹۷۷) به دست آمد.

### ۲-۳- برآورد مصرف برق در بخش کشاورزی برای

سال ۱۴۱۴

با توجه به آمار ارایه شده توسط شرکت توزیع برق شهرستان مشهد، مشاهده می‌شود که مقدار انرژی مصرف شده در بخش کشاورزی در هر سال حدود ۹ درصد انرژی کل مصرفی برای شهرستان مشهد می‌باشد. بنابراین از آنجا که داده‌های مستقلی برای بخش کشاورزی وجود ندارد، با محاسبه و برآورد انرژی مصرفی کل، می‌توان مقدار انرژی بخش کشاورزی را محاسبه کرد.

استفاده از سری زمانی در اینجا امکان‌پذیر نیست زیرا داده‌های



شکل ۱- رابطه بین میزان مصرف برق و سال‌های مختلف برای شهرستان مشهد

Fig 1. Relationship between electricity consumption and different years for the city of Mashhad

## ۳- نتایج

## ۳-۱- انرژی قابل استحصال از فضولات گاوی

انرژی قابل استحصال برای هر مترمکعب زیست‌گاز تولید شده از گاو

و انسان ۲۰ مگاژول در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین خصوصیات فضولات انسان و گاو در جدول ۳ آورده شده است (Perera et al., 2005).

جدول ۳- ویژگی‌های فضولات گاو و انسان

Table 3. Characteristics of cattle and human excreta

منبع تولید	ماده خشک روزانه (کیلوگرم بر نفر / رأس)	ضریب بازیابی (درصد)	ضریب مواد جامد فرار (کیلوگرم بر کیلوگرم)	مقدار تولید زیست توده	مقدار تولید گاز (مترمکعب)
Source	Dry material (kg/head)	Factor recovery (%)	Factor Volatile solids (kg/kg)	Biogas yield (m <sup>3</sup> /kg)	Biogas production (m <sup>3</sup> )
گاو (Cow)	2.86	50	0.93	0.31	0.412
انسان (Human)	0.1	80	0.67	0.4	0.021

در نظر گرفته می‌شود، ۶۰ درصد انرژی ورودی به این سامانه‌ها برای ایجاد و استفاده انرژی حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰ درصد انرژی هدر می‌رود) و این در حالی است که بازدهی حرارتی یک نیروگاه متداول ۵۰ تا ۶۰ درصد است (Bagheri et al., 2012). با این توضیحات مقدار انرژی قابل استحصال در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به پتانسیل تولید انرژی زیست‌گاز که ۲۰ مگاژول برای هر مترمکعب است و مقدار گاز تولید شده در روز که ۰/۴۱۲ مترمکعب است، مقدار انرژی قابل دسترس به ازاء هر رأس گاو در هر روز برابر با ۸/۲۴ مگاژول می‌شود. موتور ژنراتورهای گازسوز برای تولید برق، راندمانی حدود ۳۰ درصد دارند (Sedaghat et al., 2008) و از آنجا که بازده سامانه‌های CHP به‌طور معمول ۹۰ درصد

جدول ۴- انرژی قابل استحصال از زیست‌گاز در سامانه‌های CHP

Table 4- Exploitable energy from biogas in CHP plants

شاخص Index	مقدار گاز (مترمکعب)	انرژی کل (مگاژول)	انرژی الکتریکی (مگاژول)	انرژی حرارتی (مگاژول)
	Gas value (m <sup>3</sup> )	Total Energy (MJ)	Electrical energy (MJ)	Thermal energy (MJ)
راندمان (درصد) Output (%)	-	100	30	60
برای یک رأس گاو در روز One cattle per day	0.412	8.24	2.47	4.94
برای کل ناحیه در روز Total area per day	9311.2	186224	55867	111734
برای کل ناحیه در سال Total area per year	3398588	67971760	20391455	40782910

## ۳-۲- تأمین انرژی در بخش کشاورزی در سال ۱۴۱۴

با استفاده از معادله به‌دست آمده در شکل ۱، مقدار مصرف کلی برق شهرستان مشهد برای سال ۱۴۱۴ معادل ۱۲.۳۴۲.۰۱۹ مگاوات ساعت پیش‌بینی می‌شود. بنابراین مقدار مصرف برق بخش کشاورزی ۹ درصد میزان فوق یعنی ۱.۱۱۰.۷۸۲ مگاوات‌ساعت تخمین زده می‌شود. با توجه به انرژی قابل استحصال از فضولات گاوی در ناحیه مورد بحث که مقدار آن ۶.۷۹۷ مگاوات‌ساعت است، می‌توان دریافت که ۰/۶۱ درصد برق مورد نیاز بخش کشاورزی توسط فضولات گاوی قابل تولید خواهد بود که حتی به ۱ درصد هم نمی‌رسد.

با توجه به این موضوع که داده‌های شرکت توزیع برق تا سال ۱۳۹۵ در اختیار بودند، بنابراین پتانسیل تولید برق از زیست‌گاز برای این سال ۲۰.۳۹۱.۴۵۵ مگاژول و یا ۵.۶۶۴.۳۰۰ کیلووات ساعت می‌باشد. با توجه به آمار اتحادیه گاوداران شهرستان مشهد، پیش‌بینی می‌شود که تعداد رأس دام‌ها برای ۲۰ سال آینده (سال ۱۴۱۵) حدود ۲۰ درصد رشد داشته باشد. پس مقدار انرژی قابل دریافت نیز به‌همین میزان رشد خواهد داشت و برای سال ۱۴۱۴ انرژی قابل استحصال در حدود ۶.۷۹۷.۱۶۰ کیلووات‌ساعت و یا ۶.۷۹۷ مگاوات-ساعت برآورد می‌گردد.

### ۳-۳- میزان آلاینده‌گی و مقدار کاهش آن برای تأمین انرژی بخش کشاورزی

با توجه به جدول ۲ و مقدار برق لازم در بخش کشاورزی و مقدار برق قابل استحصال از زیست‌گاز حاصل از فضولات گاوی، می‌توان مقدار آلاینده‌گی ناشی از برق فسیلی و مقدار کاهش ناشی از استفاده از زیست‌گاز در سامانه‌های CHP را محاسبه کرد. با توجه به این‌که

مقدار نیاز در بخش کشاورزی برای سال ۱۴۱۴ حدود ۱.۱۱۰.۷۸۲.۰۰۰ کیلووات‌ساعت و مقدار پتانسیل تولید برق از زیست‌گاز ۶.۷۹۷.۰۰۰ کیلووات‌ساعت بوده است، مقدار آلاینده‌ها و هزینه تخریب محیط زیست و نیز مقدار کاهش آلاینده‌ها و کاهش هزینه‌ی تخریب منتج از استفاده از زیست‌گاز در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- مقدار انتشار و کاهش انتشار در اثر استفاده از زیست‌گاز  
Table 5. Emissions and reduction of emissions due to the use of biogas

CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	SPM	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	واحد Unit	شاخص Index
19.994	795517.631	149.956	725.341	3464.529	3101.303	تن Ton	مقدار آلاینده‌گی Emission
0.840	1591.035	128.962	27.200	1264.553	372.156	هزار دلار k\$	هزینه تخریب Destruction cost
0.122	4867.862	0.912	4.438	21.200	18.977	تن Ton	کاهش آلاینده‌گی Reducing emission
0.005	9.736	0.789	0.166	7.738	2.277	هزار دلار k\$	کاهش هزینه تخریب Reducing destruction cost

(Vazquez et al., 2020) به کاهش انتشار ۳۰۱۲۶۰۰۰ تن معادل دی‌اکسیدکربن در استفاده از زیست‌گاز برای تولید برق، اشاره کردند که مقدار قابل توجهی می‌باشد.

اما موضوع مهم دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد، تأمین گرما برای سالن‌های گاو‌داری و یا سایر بخش‌ها مانند گلخانه‌ها می‌باشد. همان‌طور که از داده‌های جدول ۴ مشخص است، میزان انرژی گرمایی قابل استحصال تقریباً دو برابر انرژی برق می‌باشد که قابل توجه بوده و بهتر است در پژوهش دیگری به آن پرداخته شود. در تحقیقی که در مناطق روستایی شهرستان ایوان غرب در استان ایلام صورت گرفت میزان انرژی حرارتی قابل تولید از زیست‌گاز فضولات حیوانی برای هر خانوار ۳۵۵۰۵ کیلووات‌ساعت محاسبه گردید که فاصله‌ای با انرژی حرارتی مصرفی سالیانه خانوار در آن ناحیه (۳۷۳۷۴ کیلووات‌ساعت) ندارد و بنابراین استفاده از سامانه‌های تولید انرژی زیست‌گاز در این ناحیه به‌شدت مفید خواهد بود (Moradi et al., 2018).

از طرفی استفاده از سایر منابع تولید زیست‌گاز (فضولات انسانی و سایر احشام) نیز می‌تواند برای تأمین برق و گرمای مورد مصرف، مد نظر قرار بگیرد. در تحقیقی برای تولید انرژی از ضایعات مرغداری‌ها استفاده شد که انرژی گرمایی و الکتریکی قابل استحصال به‌ترتیب ۲/۷۸۸ تراژول و ۲۷۱ گیگاوات‌ساعت گزارش گردید و بیان شد این مقدار انرژی برای تأمین نیازهای ناحیه مورد نظر بسیار چشمگیر و مناسب می‌باشد (Ayhan, 2015).

در نهایت باید به این نکته اشاره کرد که استفاده از این سامانه‌ها

با توجه به داده‌های جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از برق تولید شده در سامانه‌های CHP در هر سال حدود ۴۸۶۸ تن کاهش در انتشار دی‌اکسیدکربن و ۲۰۷۱۱ دلار کاهش هزینه‌های تخریب آلاینده‌گی خواهیم داشت.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به پتانسیل بسیار کم تولید برق از فضولات گاوی، عملاً استفاده از این منبع انرژی برای تأمین قسمتی از برق بخش کشاورزی امکان پذیر نمی‌باشد زیرا تأمین فقط ۰/۶ درصد از برق مورد نیاز مقدار بسیار ناچیزی می‌باشد. در تحقیق مشابهی که نبی و همکاران (۲۰۲۱) انجام دادند، میزان برق قابل دریافت از گاو‌داری‌های صنعتی در استان بوشهر ۳/۵۵ میلیون کیلووات‌ساعت در سال گزارش گردید که ۰/۵ درصد از مصرف برق بوشهر و یا ۵/۸۲ درصد از مصرف بخش کشاورزی و صنعتی این شهر می‌باشد (Nabi et al., 2021). در پژوهش دیگری در یکی از ایالات مکزیک بیان شد که برق تولید شده از زیست‌گاز فضولات دامی، توانایی تأمین ۵/۵ درصد از مصرف برق ناحیه را دارد (Diaz-Vazquez et al., 2020).

استفاده از سامانه‌های CHP باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها خواهد شد. این میزان برای این پژوهش در حدود ۴۸۶۸ تن دی‌اکسیدکربن می‌باشد. هر چند این مقدار برای ناحیه مورد تحقیق عدد بزرگی نیست، اما چنانچه این طرح در سطح بزرگ‌تری مثل استان یا کشور اجرایی شود، مقدار کاهش آلاینده‌ها چشم‌گیر خواهد شد. Diaz-

تأثیر زیادی در سود نهایی خواهد داشت (Yalew, 2021). همچنین مطالعات صورت گرفته حاکی از آن است که تولید پراکنده برق از زیست‌گاز تولید شده از گاوداری‌های صنعتی کشورمان صرفه اقتصادی دارد (Sadeghi et al., 2014).

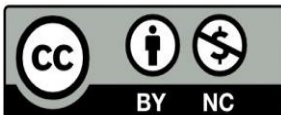
با توجه به توضیحات ذکر شده، استفاده از سامانه‌های تولید انرژی از منابع پراکنده زیست‌توده و به‌ویژه زیست‌گاز، توصیه می‌شود و برنامه‌ریزی در این زمینه می‌تواند کاهش انتشار آلاینده‌های محیط زیست و تولید همزمان برق و حرارت را به ارمغان آورد.

برای تولید پراکنده و محلی، نقاطی که دسترسی به آن‌ها دشوار است و یا برای مناطقی که ایجاد پست برق سراسری توجیه اقتصادی ندارد، بسیار مورد توجه و مفید می‌باشد. در تحقیقی در کشور اتیوپی بیان شد در سال ۲۰۱۶ میلادی میزان درآمد سالانه از صنعت زیست‌گاز ۷/۷ میلیون دلار و درآمد شرکت‌های نصب و احداث سامانه‌های زیست‌گاز در هر سال حدود ۱/۴ میلیون دلار بود و چون بیش از ۸۰ درصد جمعیت کشور را روستانشینان تشکیل می‌دهند، بنابراین تولید پراکنده انرژی از زیست‌گاز توجیه مناسبی دارد. همچنین ذکر شد استفاده از محصولات جانبی (مثلاً لجن یا فضولات جامد باقیمانده)

## منابع

- (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128270>)
- Abbas, Y., Yun, S., Mehmood, A., Ali-Shah, F., Wang, K., Eldin, E., Al-Qahtani, W., Ali, S., Bocchetta, P. 2023 (in press). Co-digestion of cow manure and food waste for biogas enhancement and nutrients revival in bio circular economy. *Chemosphere* 311(2): 137018. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137018>)
- Abdullah Akbulut, A., Arslan, O., Arat, H., Erbas, O. 2021. Important aspects for the planning of biogas energy plants: Malatya case study. *Case Studies in Thermal Engineering* 26 (2021) 101076. (<https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101076>)
- Adekunle, A., Ibitoye, S., Omoniyi, P., Jilantikiri, L., Sam-Obu, C., Yahaya, T., Mohammad, B., Olusegun, B. 2019. Production and Testing of Biogas Using Cow Dung, Jatropha and Iron Filings. *Journal of Bioresources and Bioproducts* 4(3): 143-148. (<https://doi.org/10.12162/jbb.v4i3.002>)
- Aminian, A., Abbaspour-fard, M., Aghkhani, M., Edalat, M. 2013. Evaluating potential of biomass in Khorasan-Razavi in order to generate bio energy. *Journal of environmental studies*, 39 (2): 73-82. (In Persian)
- Anonymous. 2011. Electricity balance sheet of year 1390 Hijri-Shamsi, electricity and energy programing official. Energy organization, Deputy of Electrical Affairs. (In Persian)
- Anonymous. 2014. Renewable energy organization, SUNA. <http://solar.suna.org.ir/fa/home/solar2>
- Asakere, A. 2014. Implementation of fuzzy multiple-criteria decision support system for prioritizing and selecting the appropriate areas for developing some of renewable energies in Shoghebieh region using GIS. PhD thesis in engineering of agricultural mechanization, University of Tehran. (In Persian)
- Ashraf, M., Ramzan, N., Ullah Khan, R., Khan Durrani, A. 2021. Analysis of mixed cattle manure: Kinetics and thermodynamic comparison of pyrolysis and combustion processes. *Case Studies in Thermal Engineering* 26 (2021) 101078. (<https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101078>)
- Augusto Cesar Laviola de Oliveira, A., Resende, M., Gabriel, E., Silva, M., Renato, N., Martins, M., Sequinel, R., Machado, J. 2021. Evaluation and optimization of electricity generation through manure obtained from animal production chains in two Brazilian mesoregions. *Journal of Cleaner Production* 316 (2021) 128270. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128270>)
- Ayhan, A. 2015. Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University* 29(2): 47-53.
- Bagheri, S., Gheisari, M., Ayubi, S., Lavaie, N. 2012. Silage maize yield prediction using artificial neural networks. *Journal of plant production research*, 19(4): 77-96. (In Persian)
- Bond, T., Templeton, M.R. 2011. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15: 347-354.
- Chukwuka-Iweka, S., Owuama, K.C., Chukwunke, J.L., Falowo, O.A. 2021. Optimization of biogas yield from anaerobic co-digestion of corn-chaff and cow dung digestate: RSM and python approach. *Heliyon* 7 (2021) e08255. (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08255>)
- Demirbas, M., Balat, M., Balat, H. 2009. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, 50: 1746-1760.
- Diaz-Vazquez, D., Alvarado-Cummings, S.C., Meza-Rodríguez, D., Senes-Guerrero, C., De-Anda, J., Gradilla-Hernandez, M.S. 2020. Evaluation of Biogas Potential from Livestock Manures and Multicriteria Site Selection for Centralized Anaerobic Digester Systems: The Case of Jalisco, Mexico. *Sustainability* 12: 3527. (DOI:10.3390/su12093527)
- Fadai, D. 2007. Utilization of renewable energy sources for power generation in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 173-181.
- Haugen, F., Bakke, R., Lie, B., Hovland, J., Vasdal, K. 2015. Optimal design and operation of a UASB reactor for dairy cattle manure. *Computers and Electronics in Agriculture*, 111: 203-213.
- Izadi, S., Saadi, H., Hayati, D. 2020. Analysis of biogas technology application experiences in rural areas of Iran. *Economy of Rural Development Quarterly* 4(30): 169-194. (In Persian)
- Karaj, S., Rehl, T., Leis, H., Muller, J. 2009. Analysis of biomass residues potential for electrical energy generation in Albania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 493-499.
- Moradi, H.; Mobli, H.; Jafari, A. & Khanali, M. 2018.

- Potential of Biogas Production from Animal Waste in Rural Areas of West Ezyvan County, Ilam Province. *Journal of Agricultural Mechanization* 4(2): 101-110. (In Persian)
- Mondal, M., Denich, M. 2010. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 2401-2413.
- Nabi, G., Darya-beigi, A., Rabiei, M. 2021. Potential Measurement and Assessment of Biogas Production Capacity from Cattle Waste Biomass (Case: Industrial Cattle Farms of Bushehr Province). *Environmental Research* 12(24): 81-90. (In Persian) (DOR: 20.1001.1.20089597.1400.12.24.7.9)
- Omrani, G. 1997. Principles of biogas generation from municipal and rural waste. University of Tehran publication. 184 pages. (In Persian)
- Perera, K.K.C.K., Rathnasiri, P.G., Senarath, S.A.S., Sugathapala, A.G.T., Bhattacharya, S.C., Salam, P.A. 2005. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka. *Biomass and Bioenergy*, 29: 199-213.
- Rehling, U. 2001. Small biogas plants. Sustainable energy systems and management (SESAM). Germany, University of Flensburg.
- Sadeghi, H., Ghaemi, F., Ghazi-zadeh, M. 2014. Cost-Benefit Analysis of Scattered Production of Electricity from Biogas in Iran's Industrial Cattle Farms. *Quarterly Journal of Energy Economics Studies* 10(42): 55-80.
- Sedaghat, M., Almasi, M., Borgheie, A. 2008. Design of energy recycle in an integrated egg production place. 5<sup>th</sup> national congress of agricultural machinery and mechanization. (In Persian)
- Shafiee, M., Ebrahimi, M., Rashki, A. 2013. Potential evaluation for biogas in Khorasan-Razavi on the base of GIS model. 8<sup>th</sup> national congress of agricultural machinery and mechanization. (In Persian)
- Thiangchanta, S., Khiewwijit, R., Mona, Y. 2022. Environmental impact of the biogas production from dairy cows. *Energy reports* 8: 290-295. (<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.204>)
- Tukenmez, M., Demireli, E. 2012. Renewable energy policy in Turkey with the new legal regulations. *Renewable Energy*, 39: 1-9.
- Wang, Q., Thompson, E., Parsons, R., Rogers, G., Dunn, D. 2011. Economic feasibility of converting cow manure to electricity: A case study of the CVPS Cow Power program in Vermont. *Dairy Sci* 94(10): 4937-4949. (<https://doi.org/10.3168/jds.2010-4124>)
- Ware, A., Power, N. 2016. Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. *Renewable Energy* 97: 541-549. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.068>)
- Yalew, A. 2021. Economic Contributions and Synergies of Biogas with the SDGS in Ethiopia. *Energy Nexus* 3 (2021) 100017. (<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100017>)
- Yazdandad, H., Karimi, A., Fatehi, A. 2011. Using Mashhad electricity generators in the purpose of environmental protection. The first international conference on new issues in energy saving, Tehran, Iran. (In Persian).



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)