10.22034/jrenew.2025.212879

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۴۰۳/۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش: 403/08/۲۶

سال دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴، ص ص 91- 100

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از هضم ترکیبی کود دامی و بقایای محصولات کشاورزی

وحید کریمیان[1]، سمیرا زارعی[2*]، پیمان سلامی[3]

1- دانش آموخته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

2- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

3- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

* سنندج، کدپستی ۶۶۱۷۷۱۵۱۷۵، پست الکترونیک s.zareei@uok.ac.ir

چکیده

افزایش روزافزون تولید پسماندهای شهری، روستایی و صنعتی و نحوه مدیریت و دفن این پسماندها یکی از چالش‌های جوامع بشری می‌باشد. از سوی دیگر تقاضا برای انرژی و محدود بودن منابع انرژی فسیلی، توجه جوامع را به سوی انرژی‌های تجدید پذیر معطوف کرده است. بیوگاز یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که از مواد آلی معروف به زیست‌توده تولید می‌شود. در پژوهش حاضر، تولید بیوگاز از هضم بی‌هوازی ترکیب کود گاوی و بقایای محصولات گندم، جو و نخود (با نسبت ۷۵:۲۵) در مقیاس نیمه صنعتی مورد بررسی قرار گرفت و سپس شاخص‌های انرژی و چرخه حیات آن ارزیابی شد. بررسی شاخص‌های انرژی نشان داد در فرآیند تولید بیوگاز از هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با کود گاوی، نسبت انرژی خالص به ترتیب برابر با ۱/۶۴۹، ۱/۶۱۳ و ۱/۵۵۴ بود. همچنین در این فرآیند بهره خالص انرژی برای هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با کود گاوی به ترتیب برابر با ۱۲۱۹۱/۴، ۱۱۸۱۶/۴ و ۱۰۹۵۶/۵۵۴ مگاژول بود. به عبارت دیگر، تولید بیوگاز از ترکیب بقایای نخود با کود گاوی بهترین نتایج و ترکیب بقایای جو با فضولات دامی ضعیف‌ترین نتایج را از دیدگاه تحلیل انرژی به خود اختصاص دادند. شاخص‌های زیست محیطی میانی و ارزیابی چرخه زیست در فرآیند تولید بیوگاز در سه سناریوی مختلف ترکیب بقایای گندم، جو و نخود با کود دامی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نتایج به‌دست آمده، ترکیب بقایای نخود با کود گاوی نسبت به دو ترکیب دیگر بیشتر دوستدار محیط زیست بوده و سناریوی مناسب‌تری از دیدگاه ارزیابی چرخه زیست می‌باشد.

کلیدواژگان: اثرات زیست محیطی، جو، گندم، نخود، هضم بی‌هوازی

Life cycle assessment of biogas production from co-digestion of cow manure and agricultural residues

Vahid Karimian[1], Samira Zareei[2*], Payman Salami[3]

1-Graduated in M.Sc. Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

* P.O.B. 123456789 Sanandaj, Iran, 6617715175 email: s.zareei@uok.ac.ir

Received: 29 March 2024 Accepted: 16 November 2024

Abstract

The increasing production of urban, rural and industrial wastes and how to manage and bury these wastes is one of the challenges of human societies. On the other hand, the demand for energy and the limited resources of fossil energy have turned society's attention towards renewable energies. Biogas is one of the types of renewable energy that is produced from organic materials known as biomass. In the present study, biogas production from anaerobic digestion of cow manure and residues of wheat, barley and chickpea crops (with a ratio of 25:75) was investigated on a semi-industrial scale. Then its energy and life cycle indicators were evaluated. The study of energy indicators showed that in producing biogas from each ton of the combination of chickpea, wheat and barley residues with cow manure, the ratio of net energy was 1.649, 1.613 and 1.554, respectively. Also, in this process, the net energy benefit for each ton of the combination of chickpea, wheat and barley residues with cow manure was equal to 12191.4, 11816.4 and 10956.554 MJ,

Authors retain the copyright and full publishing rights. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

respectively. In other words, the production of biogas from the combination of pea residues with cow manure had the best results and the combination of barley residues with cow manure had the weakest results from the point of view of energy analysis. Intermediate environmental indicators and life cycle assessment in biogas production were evaluated in three scenarios of combining wheat, barley and chickpea residues with manure. According to the obtained results, the combination of chickpea residue with cow manure is more environmentally friendly than the other two combinations and is a more suitable scenario from the point of view of life cycle assessment.
Keywords: Anaerobic Digestion, Barley, Environmental Effects, Peas, Wheat

۱- مقدمه

یکی از چالش‌های جوامع بشری، افزایش روزافزون تولید پسماندهای شهری، روستایی و صنعتی می‌باشد و در صورت عدم توجه کافی به نحوه جمع‌آوری و دفن این مواد، مشکلاتی از قبیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب‌های زیرزمینی، اسیدی شدن خاک‌ها به‌وسیله شیرابه‌ی حاصل از فساد پسماندها و انتشار بوی ناخوشایند ایجاد خواهد شد [۱]. علاوه بر این مشکلات، تأمین انرژی فسیلی و سوخت‌رسانی برای بسیاری از روستاها و نواحی دورافتاده به دلیل صعب‌العبور بودن مسیرها بسیار دشوار و هزینه‌بر است. یک راه برای غلبه بر این مشکلات، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر است. از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توان به انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، انرژی جزرومد دریاها و اقیانوس‌ها، انرژی باد و انرژی زیست‌توده اشاره کرد. از منابع ذکر شده، انرژی زیست‌توده و به‌ویژه انرژی بیوگاز از زیست‌توده به دلیل ویژگی‌های مانند تولید انرژی، دفع پسماندها، کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای و تولید کودهای غنی بیشتر از قبل موردتوجه محققان قرار گرفته است [۲].

بیوگاز از هضم بی‌هوازی زیست‌توده تولید می‌شود و عمدتاً شامل ۵۵ تا ۷۰ درصد گاز متان، ۲۵ تا ۴۰ درصد دی‌اکسیدکربن به همراه سایر گازها از قبیل مقادیر کمی از سولفید هیدروژن، هیدروژن، نیتروژن و آمونیاک می‌باشد [۳]. عواملی مانند دما، PH، غلظت، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) و زمان ماند بر میزان تولید بیوگاز و درصد ترکیبات آن تأثیر می‌گذارند [۴].

زیست‌توده اصطلاحی گسترده است و به‌طورکلی به گیاهان و ضایعات حیوانی اطلاق می‌شود. بقایای کشاورزی، پسماندهای جنگلی، حیوانی، آلی شهری و فاضلاب دسته‌بندی‌های اصلی زیست‌توده را تشکیل می‌دهند [۵]. باتوجه‌به میزان تولید مدام محصولات کشاورزی، پسماندها نیز در این بخش فراوان است و چنانچه محل مصرف مناسب‌تری برای این پسماند در نظر گرفته نشود می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع زیست‌توده برای تولید انرژی مورداستفاده قرار گیرد [۶].

از طرف دیگر فضولات دامی نیز غنی از مواد آلی هستند و انباشته شدن آن در محوطه دامداری‌ها باعث ایجاد آلودگی زیست‌محیطی می‌شود و استفاده از آنها برای تولید انرژی و کودهای زیستی و محیطی پاک‌تر اثربخش خواهد بود [۷]. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده، مقدار فضولات دامی قابل‌دسترس در ایران ۹۷/۵ میلیون تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن ۲۳/۸ میلیارد مترمکعب می‌باشد [۸]. همچنین ضایعات کشاورزی و جنگلی قابل جمع‌آوری در ایران ۲۳۱۴۷/۵ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن‌ها ۵۴۷۵/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد [۹]. از کل سطح زیر کشت ایران سهم غلات ۷۳ درصد، نباتات علوفه‌ای ۷/۵ درصد، حبوبات ۶ درصد، محصولات صنعتی ۴/۵ درصد، سبزیجات ۴/۵ درصد، محصولات جالیزی ۳ درصد و سایر محصولات کشاورزی ۱/۴ درصد می‌باشد. سنتی بودن کشاورزی از کاشت تا برداشت، مشکلات در نگهداری و حمل و نقل و تبدیل و توزیع ناصحیح محصولات کشاورزی سبب شده‌اند تا ضایعات محصولات کشاورزی در سطح بالایی باشد. محصولات گندم، جو، از محصولات مهم کشور هستند و تقریباً ۵۰ درصد میزان تولیدی آنها به پسماند اختصاص می‌یابد. بررسی پتانسیل تولید بیوگاز از فضولات دامی و پسماندهای روستایی در ایران نشان داده است که میزان فضولات دامی و پسماندهای روستایی قابل جمع‌آوری به ترتیب برابر با ۱۸/۹ و ۱/۸ میلیون تن در سال بوده و با استفاده مناسب از این منابع جمعاً می‌توان ۲۴۹۴/۳ میلیون مترمکعب بیوگاز تولید کرد و از آلودگی محیط‌زیست بر اثر دفع نامناسب پسماندها نیز جلوگیری کرد [۱۰]. مطالعات زیادی درباره تولید بیوگاز از بقایای محصولات کشاورزی انجام شده است که از آن میان می‌توان به مطالعه تولید بیوگاز از هضم بی‌هوازی پوسته نخود [۱۳-۱۱]، تولید بیوگاز از هضم بی‌هوازی کاه گندم [۱۶-۱۴]، تولید بیوگاز از هضم ترکیبی کود دامی و کاه گندم [۱۷]، تولید بیوگاز از هضم ترکیبی بقایای محصول گندم و کود مرغی [۱۸] و تولید بیوگاز از هضم ترکیبی کاه جو و کود خوکی [۱۹] اشاره کرد.

علی‌رغم این که بیوگاز به‌عنوان یک سوخت زیستی و تجدیدپذیر که آلایندگی کمتری تولید می‌کند شناخته می‌شود، اما لازم است اثرات زیست‌محیطی و انتشار و آلایندگی‌های آن مورد ارزیابی و محاسبه قرار گیرد. ارزیابی چرخه زیست (LCA) روشی است که در آن تمام اثرات و جوانب زیست‌محیطی یک فرآیند از ابتدا تا انتها، از استخراج مواد خام و ساخت و تولید محصول تا حمل‌ونقل و بهره‌برداری و در نهایت دفع و بازیافت مواد بررسی می‌شود. روش LCA بنا بر تعریف ارائه شده توسط ISO در سال ۱۹۹۷، در چهار مرحله انجام می‌شود: ۱-هدف و تعریف محدوده، ۲-تجزیه و تحلیل موجودی، ۳-ارزیابی تأثیر و ۴-تفسیر. اولین گام در ارزیابی چرخه زیست تعریف هدف و محدوده مطالعه است. در این مرحله دلایل مطالعه LCA و کاربرد موردنظر از نتایج مشخص می‌شود، هدف از مطالعات ارزیابی چرخه زیست در بخش کشاورزی ارزیابی و بررسی اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. تراکم‌های مختلف در تولید محصول یا تجزیه و تحلیل مزایا و معایب سیستم‌های کشاورزی فشرده یا گسترده در مرحله بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد که عملکرد و مرزهای آن را نشان می‌دهد. در ادامه تجزیه و تحلیل موجودی تمام منابع موردنیاز و کلیه انتشارات منتشر شده توسط سیستم‌های خاص تحت بررسی را گردآوری می‌کند و آن‌ها را به واحد عملکردی تعریف شده مرتبط می‌کنند [۲۰]. برخی از شاخص‌های مورد بررسی در ارزیابی چرخه زیست عبارتند از: تابش یونیزه، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی، سمیت انسان

(سرطانی)، سمیت انسان (غیر سرطانی)، اسیدی شدن محیط خشکی، اشغال زمین، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای و گرمایش جهانی.

مطالعه حاضر باهدف ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از فضولات دامی و پسماندهای کشاورزی و نیز تحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در این فرآیند صورت می‌گیرد.

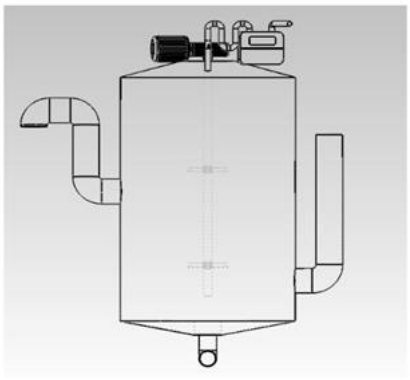
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد اولیه

در این مطالعه مواد اولیه برای خوراک هاضم شامل بقایای محصولات گندم، جو و نخود و فضولات دامی برای تولید بیوگاز از مزارع استان کردستان جمع‌آوری شد. این استان بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. بر اساس استانداردها بخشی از پسماند محصولات کشاورزی باید برای جلوگیری از فرسایش خاک و تأمین مواد آلی خاک، روی سطح زمین باقی بمانند. به‌طور متوسط حدود ۴-۲ تن پسماند به ازای هر هکتار زمین بر روی سطح خاک گذاشته می‌شود. پسماند کشاورزی باقی مانده نیز به طور کامل قابل جمع‌آوری نیست و بخشی از آن در بخش‌های مختلف هدر می‌رود.کاه باقی‌مانده از برداشت محصول با استفاده از دو نفر نیروی انسانی از سطح مزرعه جمع‌آوری و توسط وسیله نقلیه به محل هاضم منتقل شد. فاصله زمانی تقریبی مزارع از محل هاضم در حالت میانگین یک ساعت بود. فاصله زمانی محل دامداری تا هاضم تقریبا ۱۵ دقیقه بود و فضولات گاوی تازه از دامداری جمع‌آوری و به محل هاضم منتقل شد.

۲-۲- روش انجام آزمایشات تولید بیوگاز

برای انجام آزمایش تولید بیوگاز، از یک راکتور نیمه صنعتی ۱۲۰۰ لیتری استوانه ای عمودی با قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر از جنس فولاد ضد زنگ (SAE 304 stainless steel) با ضخامت ۴ میلی‌متر استفاده شد. یک همزن پروانه‌ای دو طبقه از جنس فولاد ضد زنگ با مشخصات مشابه جنس راکتور با قطر پره ۳۰ سانتی‌متر و با ضخامت ۲ میلی‌متر برای هم‌زدن مواد داخل هاضم تعبیه شد و نیرو محرکه همزن از یک الکتروموتور با توان ۰/۳۷ کیلووات تأمین شد. میزان حجم کاری هاضم ۱۰۰۰ لیتر در نظر گرفته شد و ۲۰۰ لیتر باقی مانده نیز برای ذخیره گاز تولیدی مورد استفاده قرار گرفت. شماتیک راکتور و اجزای آن در شکل (۱) نشان داده شده است. کل مواد خوراک در این روش (ناپیوسته) که شامل آب، کود گاوی و بقایای محصول کشاورزی (نخود، جو و گندم) بود، به داخل هاضم‌ها ریخته شد و تا پایان آزمایش درون هاضم باقی ماندند.



شکل ۱ شماتیک هاضم مورد استفاده و اجزای آن

در هر بارگذاری هاضم مقدار ۵۰۰ کیلوگرم خوراک شامل ۷۵ درصد کود گاوی و ۲۵ درصد بقایای محصول، با ۵۰۰ لیتر آب مخلوط شده و به داخل هاضم تغذیه می‌شد. به منظور اختلاط مواد داخل هاضم، همزن در هر شبانه روز ۲ بار و به مدت ۵ دقیقه روشن می‌شد. یک کنتور گاز خانگی در خروجی هاضم برای اندازه‌گیری حجم گاز تولیدی نصب شد. میزان گاز تولیدی به‌صورت روزانه و در سر ساعت مشخص قرائت و ثبت می‌شد. زمان ماند ۲۰ روز برای انجام آزمایشات در نظر گرفته شد.

۲-۳- تهیه مواد اولیه

۲-۳-۱- روش ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی در چرخه زیست

در این مطالعه مواد اولیه برای خوراک هاضم شامل بقایای محصولات گندم، جو و نخود و فضولات دامی برای تولید بیوگاز از مزارع استان کردستان جمع‌آوری شد. بر اساس استانداردها بخشی از پسماند محصولات کشاورزی باید برای جلوگیری از فرسایش خاک و تأمین مواد آلی خاک، روی سطح زمین باقی بمانند. به‌طور متوسط حدود ۴-۲ تن پسماند به ازای هر هکتار زمین بر روی سطح خاک گذاشته می‌شود. پسماند کشاورزی باقی مانده نیز به طور کامل قابل جمع‌آوری نیست و بخشی از آن در بخش‌های مختلف هدر می‌رود.کاه باقی‌مانده از برداشت محصول با استفاده از دو نفر نیروی انسانی از سطح مزرعه جمع‌آوری و توسط وسیله نقلیه به محل هاضم منتقل شد. فاصله زمانی تقریبی مزارع از محل هاضم در حالت میانگین یک ساعت بود. فاصله زمانی محل دامداری تا هاضم تقریبا ۱۵ دقیقه بود و فضولات گاوی تازه از دامداری جمع‌آوری و به محل هاضم منتقل شد.

۲-۳-۲- سیاهه انتشارات

در بخش تولید هاضم نیمه صنعتی مواد و تجهیزات مورد استفاده در ساخت هاضم در نظر گرفته می‌شوند. در بخش تولید کشاورزی نیز مراحلی مانند آبشویی کود، تصعید کود شیمیایی، منتشر شدن سموم کشاورزی و انتشارات از موتور تراکتوری در داخل مرز سیستم تولیدی اتفاق می‌افتد که این ویژگی‌ها به نوع مدیریت سیستم مزرعه و شرایط مکانی بستگی دارد. در بخش کشاورزی انتشارات به هوا و آب و خاک که با استفاده از مدل‌های پایگاه داده LCA که طبق دستورالعمل سازمان محیط‌زیست اروپا می‌باشد در نظر گرفته شد [۲۱].

تولید نهاده‌ها در پس زمینه مانند تولید کود و آفت کش‌ها، برق، حمل و نقل که در خارج از محوطه سیستم انتشار می‌یابد، با استفاده از پایگاه داده اطلاعات اکواینونت[1] برآورد شد. اکواینونت یک پایگاه داده با هدف ترکیب و افزایش یک مجموعه داده واحد و کلی است که با تمام فرآیندهای داده‌ای جهانی تخمین زده شده است. برای ایجاد چرخه زیست یک محصول طبق استاندارد های ISO14040 تمامی جزئیات مواد به کار گرفته شده و همه انتشارات در تمامی مراحل مانند استخراج مواد، فرآوری، حمل و نقل، بازیافت و استفاده دوباره ضایعات با توجه به نیاز، به نرم‌افزار داده می‌شود. در این مطالعه از نرم‌افزار Simapro استفاده شدکه کارایی بالایی در زمینه ارزیابی چرخه زیست دارد.

۲-۴- شاخص‌های مورد ارزیابی در تحلیل انرژی

برای هر یک از منابع ورودی و خروجی فرآیند تولید بیوگاز از هضم ترکیبی کود دامی و بقایای سه محصول گندم، جو و نخود، با در نظر گرفتن مواد و تجهیزات ساخت هاضم نیمه صنعتی، با در دست داشتن محتوای انرژی هر نهاده که از منابع مختلف قابل استخراج است و مقدار مصرفی آن می‌توان هم ارز انرژی هر نهاده را محاسبه کرد. نهاده‌های مورد استفاده در ساخت هاضم عبارتند از: فولاد، لاستیک، شیر گازی، الکتروموتور، اینورتر و نیروی کارگری و نهاده‌های مورد استفاده در فرآیند تولید بیوگاز، کود گاوی، کاه گندم، کاه جو، کاه نخود، آب و نیروی کارگری می‌باشند. برای ستانده‌های فرآیند که کود کمپوست حاصل و بیوگاز تولیدی می‌باشند نیز هم‌ارز انرژی آن‌ها از حاصل‌ضرب محتوای انرژی هر یک در مقدار تولیدی آن‌ها به‌دست می‌آید. سپس مقادیر انرژی ورودی از جمع هم‌ارز انرژی تمامی نهاده‌ها و انرژی خروجی از جمع هم‌ارز انرژی ستانده‌ها حاصل می شود.

شاخص نسبت انرژی خالص که وضعیت بیلان انرژی به ازای واحد عملکرد را نشان می‌دهد (رابطه ۱)، از تقسیم کل انرژی خروجی بر کل انرژی ورودی حاصل می‌شود [۲۲]. مقدار بهره خالص انرژی نیز از تفریق انرژی ورودی از انرژی خروجی (رابطه ۲) محاسبه می‌شود.

$$NER = \frac{E_{output}}{E_{input}} \quad (۱)$$

$$NEG = E_{output-E_{input}} \quad (۲)$$

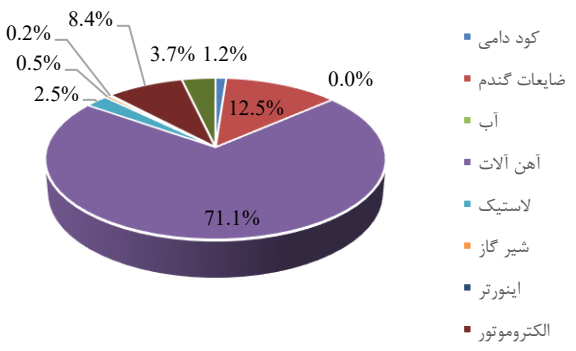
که در آن: NER (Net Energy Ratio): نسبت انرژی، E_{output}: محتوای انرژی بیوگاز و کود کمپوست (MJ) و E_{Input} : کل انرژی ورودی (MJ) و NEG (Net Energy Gain): مقدار بهره خالص انرژی (MJ) می باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل انرژی در فرآیند تولید بیوگاز از سه نوع بقایای محصول

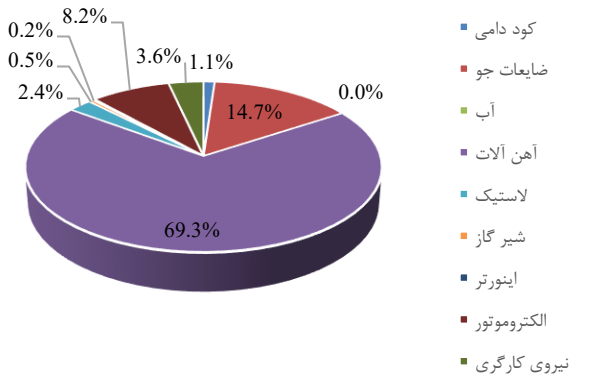
شاخص نسبت انرژی خالص برای فرآیند تولید بیوگاز در هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با کود دامی به ترتیب برابر با ۱/۶۴۹، ۱/۶۱۳ و ۱/۵۵۴ به‌دست آمد. بهره خالص انرژی استحصال شده از فرآیند تولید بیوگاز نیز برای هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با کود دامی به ترتیب برابر با ۱۲۱۹۱/۴، ۱۱۸۱۶/۴ و ۱۰۹۵۶/۵۵۴ مگاژول محاسبه شد. با توجه به شاخص‌های نسبت انرژی خالص و بهره خالص انرژی، تولید بیوگاز از ترکیب بقایای نخود با کود دامی بهترین نتایج را از دیدگاه بیلان انرژی حاصل کرد. در حالی که ضعیف‌ترین نتیجه، مربوط به تولید بیوگاز از ترکیب بقایای جو با کود دامی بود.

سهم هر یک از نهاده‌ها در کل انرژی ورودی فرآیند تولید بیوگاز از ترکیب بقایای گندم، جو و نخود با کود دامی در شکل های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است. مطابق نتایج، فولاد مصرفی در ساخت هاضم و سپس بقایای محصول بیشترین سهم از انرژی ورودی فرآیند را به خود اختصاص دادند. از کل انرژی ورودی در فرآیند تولید بیوگاز از بقایای گندم و کود دامی، ۷۱/۱ و ۱۲/۵ درصد به ترتیب ناشی از آهن‌آلات و بقایای گندم بود. در تولید بیوگاز از بقایای جو و کود دامی، ۶۹/۳ و ۱۴/۷ درصد به ترتیب ناشی از آهن-آلات و بقایای جو بود و این درصدها در تولید بیوگاز از بقایای نخود و کود دامی، ۷۲/۹ و ۱۰/۲ درصد به ترتیب از آهن‌آلات و بقایای نخود نشأت گرفته بود. درصدهای نهاده‌های ثابت در این سه نمودار با یکدیگر متفاوت بود، زیرا جمع کل انرژی نهاده‌ها در هر سه حالت با هم متفاوت است. لذا درصد سهم هر کدام از نهاده‌ها مقداری با همدیگر متفاوت شده است. برای مثال انرژی معادل آهن آلات در هر سه حالت ۱۳۶۹۵ مگاژول بوده، لیکن کل انرژی مصرفی شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۱۹۲۶۳/۶۱، ۱۹۷۶۳/۶۱ و ۱۸۷۸۸/۶۱ مگاژول به دست آمده است. از تقسیم انرژی معادل آهن آلات (۱۳۶۹۵ مگاژول) بر این سه عدد، سهم این نهاده در هر کدام از شکل‌ها به ترتیب برابر ۷۱/۱، ۶۹/۳ و ۷۲/۹ درصد محاسبه شده است. این تفاوت برای سایر نهاده‌های ثابت مانند الکتروموتور و غیره نیز وجود داشته است.

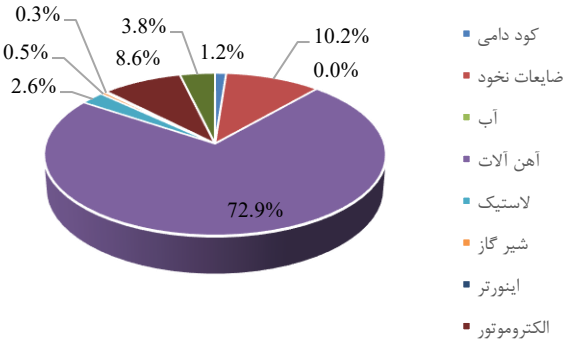


شکل ۲ سهم نهاده‌های ورودی در کل انرژی ورودی در فرآیند تولید بیوگاز به‌وسیله ترکیب بقایای گندم با کود دامی

[1] Ecoinvent



شکل ۳ سهم نهاده‌های ورودی در کل انرژی ورودی در فرآیند تولید بیوگاز به‌وسیله ترکیب بقایای جو با کود دامی



شکل ۴ سهم نهاده‌های ورودی در کل انرژی ورودی در فرآیند تولید بیوگاز به¬وسیله ترکیب بقایای نخود با کود دامی

۳-۲- نتایج ارزیابی چرخه زیست

نتایج ارزیابی چرخه زیست برای تولید بیوگاز از سه نوع بقایای محصولات گندم، جو و نخود در ادامه ارائه شده است. همچنین نتایج ارزیابی چرخه زیست در هر سه فرآیند با هم مورد مقایسه قرار داده شد.

۳-۲-۱- ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای گندم و کود دامی

نتایج ارزیابی چرخه زیست فرآیند تولید بیوگاز از کاه گندم و کود دامی به صورت درصدی برای شاخص‌های زیست‌محیطی مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. تولید بیوگاز بر روی شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)[۱]، سمیت انسان (غیر سرطانی)[۲]، تنفسی غیر ارگانیک[۳]، تخریب ازن استراتوفری[۴]، اکسیداسیون فتوشیمیایی[۵]، اسیدی شدن محیط خشکی[۶]، اسیدی شدن محیط آبی[۷]، اختناق دریاچه‌ای[۸]، گرمایش جهانی[۹]، انرژی غیر تجدیدپذیر[۱۰] و استخراج مواد معدنی[۱۱] نه تنها اثر سوء نداشته، بلکه باعث بهبود شرایط و کاهش این آلودگی‌ها شده است. دلیل آن، این می‌تواند باشد که اگر کود گاوی در محیط انباشته شود، باعث ایجاد آلودگی می‌شود. با توجه به اینکه درصد بالایی از بیوگاز شامل گاز متان است و با توجه به اینکه اثر گلخانه‌ای گاز متان و تخریب لایه ازن به مراتب شدیدتر از دی اکسید کربن می‌باشد، لذا این فرآیند به طور طبیعی می‌تواند مخرب باشد. اما در واقع، با تخمیر مواد اولیه و تولید بیوگاز در شرایط کنترل شده، از ورود متان به طور مستقیم به محیط زیست جلوگیری می‌شود. لذا اهمیت تولید بیوگاز از ضایعات کشاورزی و فضولات دامی از منظر ارزیابی چرخه زیست نشان داده می‌شود. همچنین، در فرآیند تخمیر احتمالا دسته‌ای از مواد مضر که می‌تواند موجب ایجاد آلودگی زیست محیطی شود، از بین رفته و در بعضی از شاخص‌ها باعث بهبود اثرات زیست محیطی شود.

تولید بیوگاز در شاخص‌های تابش یونیزه، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی و اشغال زمین باعث ایجاد آلودگی زیست محیطی شده است و به ترتیب ۹۰، ۵۵، ۷۳ و ۴۴ درصد از هر کدام از این شاخص‌ها را به خود اختصاص داده بود. همچنین ۵۵ درصد از شاخص اشغال زمین از بقایای گندم ناشی شده بود. آهن و فولاد استفاده شده برای هاضم بر روی شاخص‌های گرمایش جهانی و انرژی غیر تجدیدپذیر به ترتیب ۵۰ و ۴۱ درصد از سهم این آلودگی‌ها را به خود اختصاص داده است. الکتروموتور استفاده شده در دستگاه هاضم بر روی شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیرسرطانی)، تنفسی غیر-ارگانیک، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، انرژی غیرتجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی به ترتیب ۵۲، ۵۵، ۵۳، ۳۲، ۳۱، ۲۱، ۱۱، ۲۲، ۳۸، ۶۰، ۲۲، ۲۰ و ۵۶ درصد از هر کدام از این شاخص‌ها را به خود اختصاص داده است.

این آلاینده‌ها جزو شاخص‌های رده میانی هستند. برآیند شاخص‌های بررسی شده را می‌توان در چهار دسته اصلی اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع طبقه‌بندی کرد.

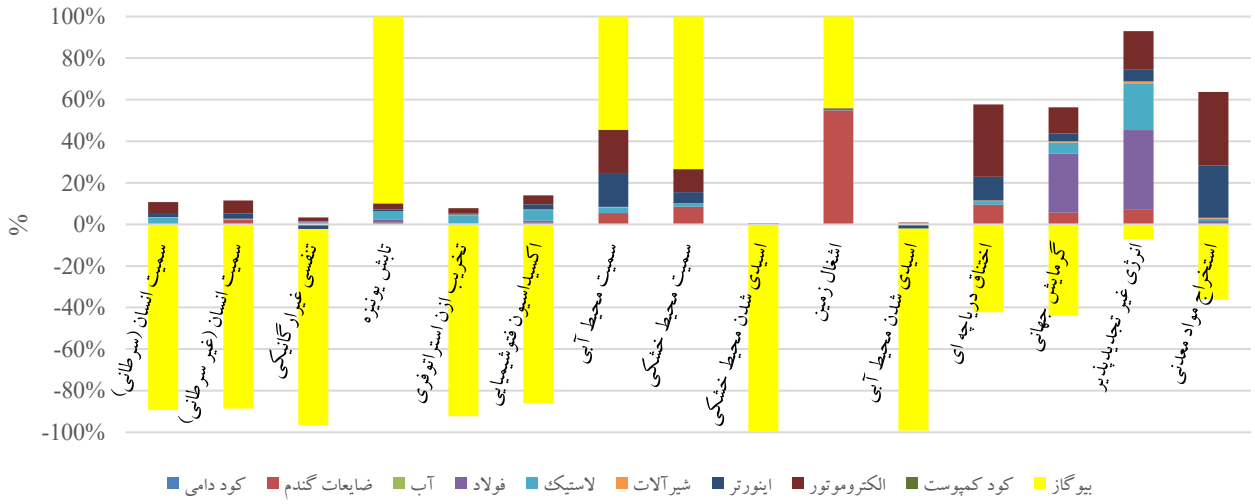
در شکل (۶) نتایج نرمال سازی شده و بدون بعد این چهار شاخص اصلی آورده شده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، تولید بیوگاز موجب کاهش تمامی دسته‌های اصلی آلایندگی‌ها یعنی اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع شده است. تمامی منابع ورودی اثر سوء بسیار ناچیزی بر روی سلامت انسان داشته‌اند، ولی بر روی تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع اثرگذار بوده‌اند. ۷۱ درصد از تخریب اکوسیستم ناشی از بقایای گندم بود. به ترتیب ۵۰ و ۳۹ درصد از تغییر اقلیم و تخریب منابع از آهن‌آلات نشأت گرفته بود. همچنین در شاخص تخریب منابع، به ترتیب ۲۳ و ۲۱ درصد آلاینده‌ها مربوط به لاستیک و الکتروموتور بود.

[1] Carcinogens
[2] Non-carcinogens
[3] Respiratory inorganics
[4] Ozone layer depletion
[5] Respiratory organics
[6] Terrestrial acid/Nutri

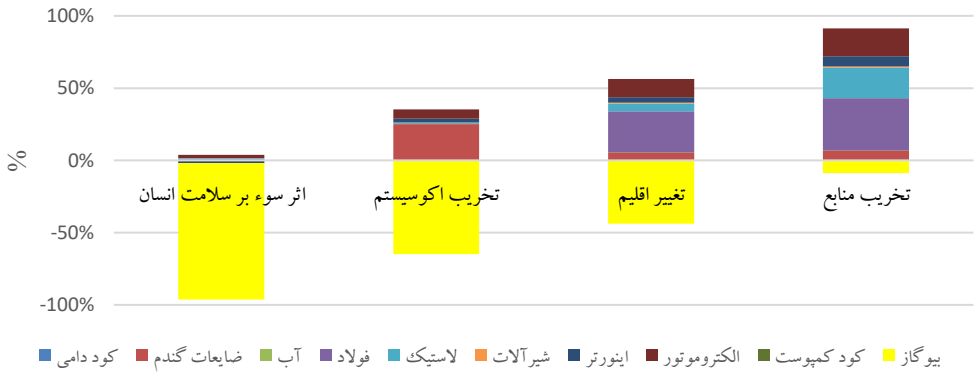
[7] Aquatic acidification
[8] Aquatic eutrophication
[9] Global warming
[10] Non-renewable energy
[11] Mineral extraction

۳-۲-۲- ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای جو و کود دامی

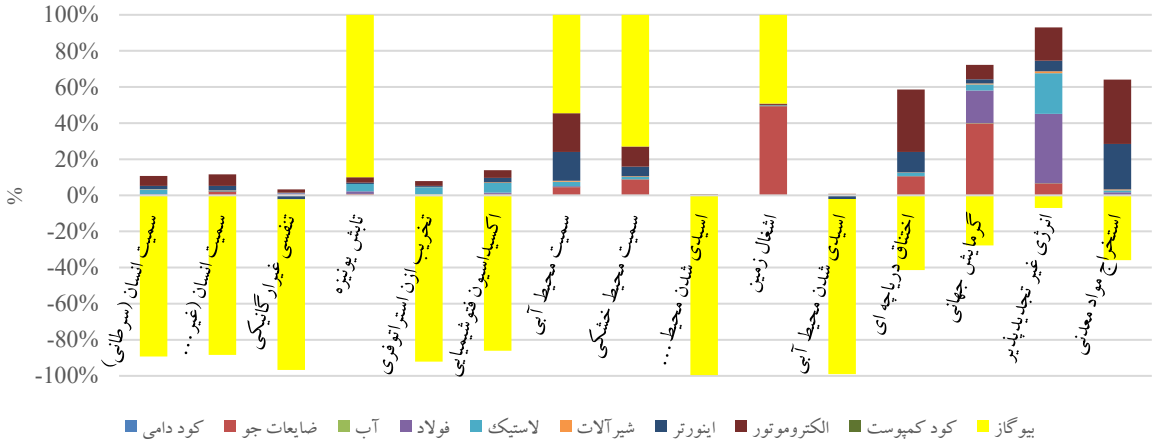
نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای جو و کود دامی در هر انتشار در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، بیوگاز استحصال شده نه تنها اثر سوء بر روی شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیرسرطانی)، تنفسی غیر ارگانیک، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، انرژی غیر تجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی نداشته، بلکه باعث کاهش این آلودگی‌ها و بهبود وضعیت شده است. همانطور که قبلا نیز گفته شد، اگر کود گاوی در محیط زیست رها شود، باعث ایجاد آلودگی می‌گردد. با عنایت به اینکه درصد بالایی از بیوگاز از گاز متان تشکیل شده است و همچنین اثر گلخانه‌ای گاز متان و تخریب لایه ازن به مراتب شدیدتر از دی اکسید کربن است، لذا این فرآیند در محیط زیست می‌تواند مخرب باشد. با تخمیر مواد اولیه و تولید بیوگاز در شرایط تحت کنترل، گاز متان به طور مستقیم وارد محیط زیست نخواهد شد. پس از منظر ارزیابی چرخه زیست، تولید بیوگاز از ضایعات کشاورزی و فضولات دامی می‌تواند مفید واقع گردد. در شاخص‌های تابش یونیزه، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی و اشغال زمین باعث، تولید بیوگاز موجب ایجاد آلودگی زیست محیطی شده و به ترتیب ۹۰، ۵۴، ۷۳ و ۴۹ درصد از این شاخص‌ها به تولید بیوگاز مربوط بود. بقایای جو ۴۹ درصد از شاخص اشغال زمین را به خود اختصاص داده بود. در شاخص‌های تنفس غیر ارگانیکی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، گرمایش جهانی و انرژی غیر تجدیدپذیر به ترتیب ۲۱، ۲۰، ۲۳، ۲۵ و ۴۱ درصد آلودگی مربوط به آهن و فولاد استفاده شده برای هاضم بود. در شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیر سرطانی)، تنفسی غیر ارگانیک، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، انرژی غیر تجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی به ترتیب ۵۲، ۵۵، ۵۲، ۳۲، ۳۱، ۲۱، ۱۱، ۲۱، ۳۷، ۵۹، ۱۱، ۲۰ و ۵۶ درصد آلودگی مربوط به الکتروموتور استفاده شده در دستگاه هاضم بود.



شکل ۵ سهم نهاده‌ها در نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای گندم و کود دامی

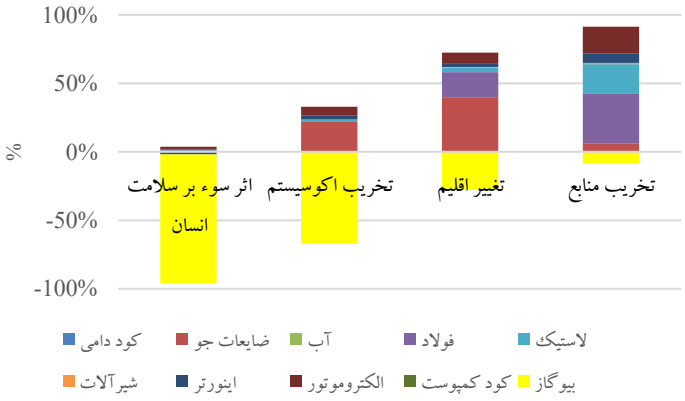


شکل ۶ مقایسه شاخص‌های اصلی نرمال سازی شده ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای گندم و کود دامی



شکل ۷ سهم نهاده‌ها در نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای جو و کود دامی

آلاینده‌های ذکر شده جزو شاخص‌های رده میانی می‌باشند. این شاخص در چهار دسته اصلی اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع طبقه بندی می‌شوند. نتایج نرمال سازی شده و بدون بعد چهار شاخص اصلی در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، تمامی دسته‌های اصلی آلایندگی‌ها (اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع) در فرآیند تولید بیوگاز کاهش پیدا کرده‌اند. منابع ورودی بر روی تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع اثر مخرب داشته‌اند، لیکن اثر سوء بسیار ناچیزی بر روی سلامت انسان ایجاد کرده‌اند. بقایای جو ۶۷ درصد از تخریب اکوسیستم را به خود اختصاص داده بود. بقایای جو و آهن آلات به ترتیب ۵۵ و ۲۵ درصد از تغییر اقلیم را به خود اختصاص داده بود. به ترتیب ۴۰، ۲۳ و ۲۱ درصد از آلاینده‌ها در شاخص تخریب منابع از فولاد، لاستیک و الکتروموتور نشأت گرفته بود.

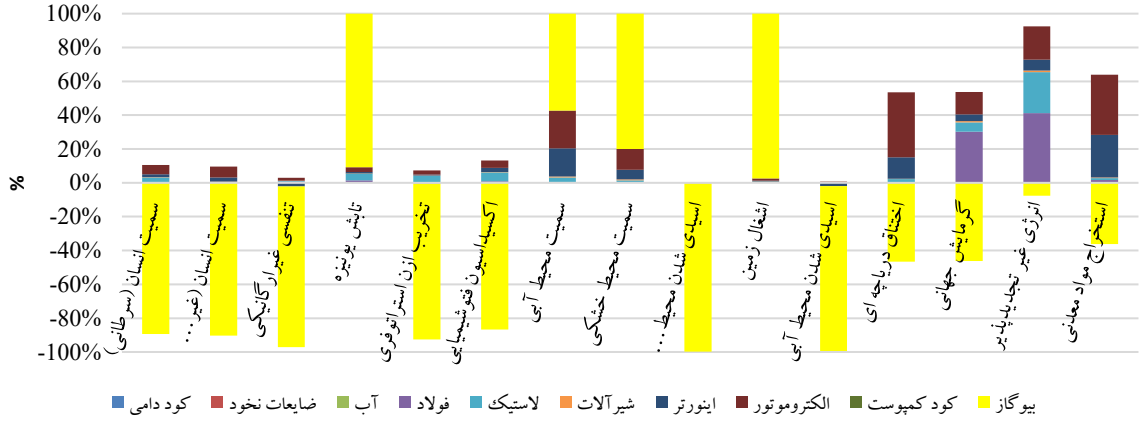


شکل ۸ مقایسه شاخص‌های اصلی نرمال سازی شده ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای جو و کود دامی

۳-۲-۳- ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای نخود و کود دامی

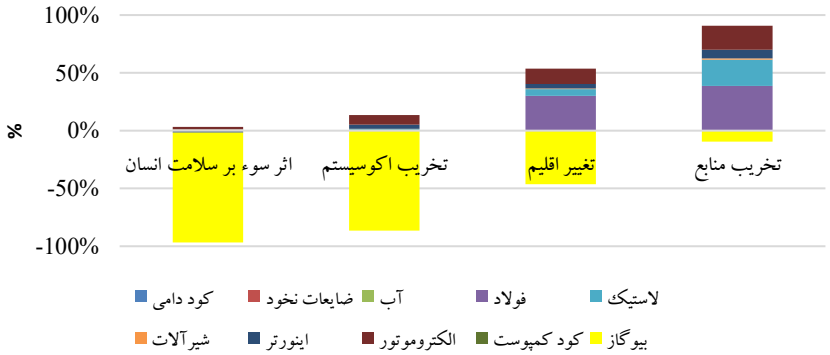
نتایج ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی در چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای نخود و کود دامی در شکل (۹) ارائه شده است. در شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیر سرطانی)، تنفسی غیر ارگانیک، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، انرژی غیر تجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی نه تنها بیوگاز به‌دست آمده اثر مخرب ایجاد نکرده است، بلکه باعث بهبود وضعیت و کاهش آلودگی‌ها فوق شده است که دلایل احتمالی آن در بخش‌های قبلی ذکر شد. اما تولید بیوگاز در شاخص‌های تابش یونیزه، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی و اشغال زمین موجب ایجاد آلودگی زیست محیطی شده و به ترتیب ۹۱، ۵۷، ۸۰ و

۹۷ درصد از شاخص‌های ذکر شده را به خود اختصاص داده بود. آهن و فولاد به‌کار رفته در هاضم بر روی شاخص‌های تنفس غیرارگانیکی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، گرمایش جهانی و انرژی غیر تجدیدپذیر به ترتیب ۲۴، ۴۰، ۳۳، ۵۶ و ۴۵ درصد اثرگذار بود. الکتروموتور دستگاه هاضم بر روی شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیر سرطانی)، تنفسی غیر ارگانیک، تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی، اسیدی شدن محیط خشکی، اسیدی شدن محیط آبی، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، انرژی غیر تجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی به ترتیب ۵۳، ۶۷، ۶۰، ۳۴، ۳۳، ۲۳، ۱۲، ۴۲، ۵۲، ۷۲، ۲۵، ۲۱ و ۵۶ درصد اثرگذار بود.



شکل ۹ سهم نهاده‌ها در نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای نخود و کود دامی

شکل (۱۰) شاخص‌های اصلی در چهار دسته اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، تولید بیوگاز موجب کاهش تمامی آلایندگی‌های دسته‌های اصلی (اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع) شده است. منابع ورودی اثر مخرب چندانی بر روی سلامت انسان و تخریب اکوسیستم نداشته‌اند، اما بر روی تغییر اقلیم و تخریب منابع تاثیر داشته‌اند. آهن‌آلات به ترتیب ۵۶ و ۲۵ درصد از تغییر اقلیم را به خود اختصاص داده است. به ترتیب ۴۳، ۲۵ و ۲۳ درصد از شاخص تخریب منابع مربوط به فولاد، لاستیک و الکتروموتور بود.

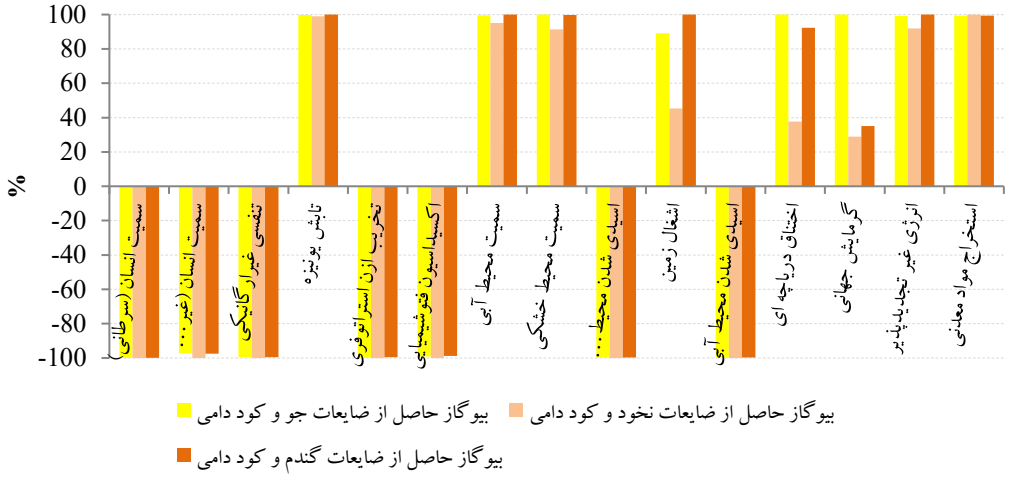


شکل ۱۰ مقایسه شاخص‌های اصلی نرمال سازی شده ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز از بقایای نخود و کود دامی

۳-۳- مقایسه ارزیابی چرخه زیست در سه نوع بقایای محصولات مختلف

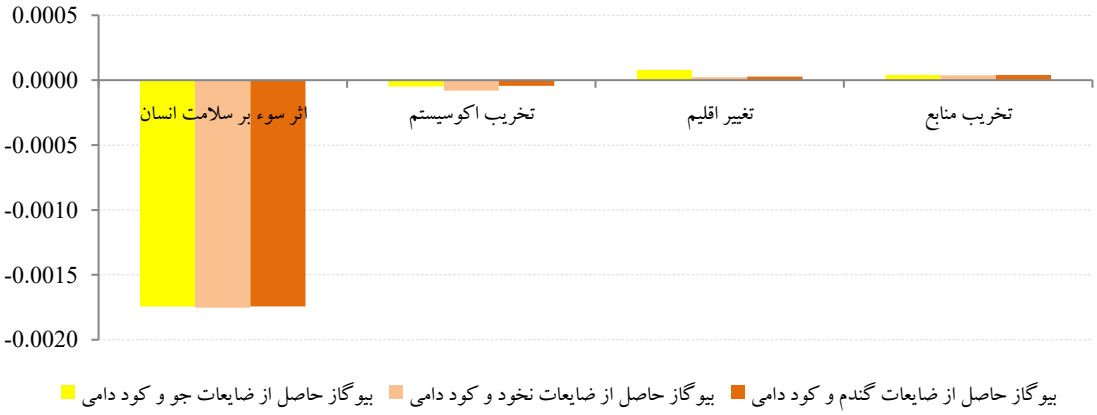
برای بررسی آثار مخرب زیست محیطی تمامی سناریوها، نتایج همه آن‌ها در کنار هم قرار گرفته و مقایسه شدند. در شکل (۱۱) نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز در هر سه فرآیند به صورت درصدی آورده شده است. بیوگاز حاصل شده از ترکیب بقایای گندم (I)، جو (II) و نخود (III) با کود دامی در شاخص‌های سمیت انسان (سرطانی)، سمیت انسان (غیرسرطانی)، تنفسی غیر ارگانیکی، تخریب ازن تخریب ازن استراتوفری، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی شدن محیط خشکی و اسیدی شدن محیط آبی نه تنها اثر سوء نداشته، بلکه موجب بهبود شرایط محیطی شده است، با این‌حال در بین سه فرآیند تفاوت چندانی وجود نداشته است. در مابقی شاخص‌ها آثار زیست محیطی مضر بوده، اما در شاخص‌های تابش یونیزه، سمیت محیط آبی، سمیت محیط خشکی، انرژی غیر تجدیدپذیر و استخراج مواد معدنی تفاوت چندانی در بین سه فرآیند مشاهده نشده است. لیکن در شاخص‌های اشغال زمین و اختناق دریاچه‌ای بین سناریوی ترکیب بقایای نخود و کود دامی با سناریوهای ترکیب بقایای گندم و جو و کود دامی اختلاف فراوانی مشاهده شد. اشغال زمین فرآیند I، ۲/۲۱ برابر و فرآیند II، ۱/۹۷ برابر فرآیند III بود. همچنین اختناق دریاچه‌ای فرآیند I، ۲/۴۴ برابر و فرآیند II، ۲/۶۵ برابر فرآیند III بود. لیکن در شاخص گرمایش جهانی، فرآیند II، ۲/۸۵ برابر

فرآیند I و ۳/۴۶ برابر فرآیند III بود و تولید بیوگاز در فرآیند II از منظر این شاخص موجب گرمایش جهانی بسیار بیشتری شده بود. با توجه به نتایج حاصل شده، به نظر می‌رسد که تولید بیوگاز از ترکیب بقایای نخود و کود دامی در شاخص‌های میانی ارزیابی پیامد چرخه زیست یا کمتر از دو فرآیند دیگر بود و یا برابر با آن‌ها. لذا این فرآیند نسبت به دو فرآیند دیگر بیشتر دوستدار محیط زیست بوده و از منظر ارزیابی چرخه زیست فرآیند بهتری به نظر می‌رسد.



شکل ۱۱ سهم نهاده‌ها در نتایج ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز در هر سه فرآیند

نتایج شاخص‌های اصلی اثر سوء بر سلامت انسان، تخریب اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخریب منابع به‌صورت نرمال سازی شده و بدون بعد در شکل (۱۲) نشان داده است. تولید بیوگاز در شاخص‌های اصلی اثر سوء بر سلامت انسان و تخریب اکوسیستم باعث بهبود وضعیت شده و نه تنها آلاینده‌های وارده به محیط زیست را بیشتر نکرده، بلکه کاهش این آلاینده‌ها شده است. در شاخص اثر سوء بر سلامت انسان، تفاوت چندانی بین سه فرآیند وجود نداشت. در شاخص تخریب اکوسیستم، فرآیند III، ۱/۸۴ برابر نسبت به فرآیند I و ۱/۶۳ برابر نسبت به فرآیند II در کاهش آلاینده‌ها برتری داشت. اما تولید بیوگاز تا حدودی در شاخص‌های تغییر اقلیم و تخریب منابع موجب ایجاد آلاینده شده بود. فرآیند II، ۲/۸۵ برابر نسبت به فرآیند I و ۳/۴۶ برابر نسبت به فرآیند III موجب تغییر اقلیم شده است. لیکن تفاوت چندانی در تخریب منابع در بین سه فرآیند مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های اصلی ارزیابی پیامد چرخه زیست، چنین استنباط می‌شود که تولید بیوگاز از ترکیب بقایای نخود و کود دامی، اثرات مخرب کمتری از دو فرآیند دیگر داشته و یا تقریبا برابر با آن‌ها بود. لذا این فرآیند (III) نسبت به دو فرآیند دیگر بیشتر دوستدار محیط زیست به نظر رسیده و از دیدگاه ارزیابی چرخه زیست فرآیند مناسب‌تری تشخیص داده شد.



شکل ۱۲ مقایسه شاخص‌های اصلی نرمال سازی شده ارزیابی چرخه زیست تولید بیوگاز در هر سه فرآیند

۴- نتیجه گیری کلی

انجام محاسبات بیلان انرژی در فرآیند تولید بیوگاز در هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با فضولات دامی، نشان داد که شاخص نسبت انرژی خالص در فرآیندهای مذکور به ترتیب برابر با ۱/۶۴۹، ۱/۶۱۳ و ۱/۵۵۴ می‌باشد. همچنین در این فرآیند در هر تن ترکیب بقایای نخود، گندم و جو با فضولات دامی، انرژی خالص استحصال شده به ترتیب برابر با ۱۲۱۹۱/۴، ۱۱۸۱۶/۴ و ۱۰۹۵۶/۶ مگاژول بود. لذا می‌توان گفت با عنایت به شاخص‌های ذکر شده، تولید بیوگاز از ترکیب بقایای نخود با فضولات دامی بهترین نتایج را از دیدگاه تحلیل انرژی به خود اختصاص داد. شایان ذکر است که در تولید بیوگاز از ترکیب بقایای جو با فضولات دامی ضعیف‌ترین نتایج از دیدگاه تحلیل انرژی به‌دست آمد. شاخص‌های زیست محیطی میانی و اصلی ارزیابی چرخه زیست در فرآیند تولید بیوگاز در سه فرآیند مختلف ترکیب بقایای گندم، جو و نخود با کود دامی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که ترکیب بقایای نخود با کود دامی نسبت به دو ترکیب دیگر بیشتر دوستدار محیط زیست بوده و فرآیند مناسب‌تری از دیدگاه ارزیابی چرخه زیست می‌باشد.

۵- مراجع

[1] H. Yaqoob, Y. H. Teoh, Z. Ud Din, N. Us Sabah, M. A. Jamil, M. A. Mujtaba, A. Abid, The potential of sustainable biogas production from biomass waste for power generation in Pakistan, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 307, pp. 127250, 2021.

[2] M. E. Ramírez-Islas, L. P. Güereca, F. S. Sosa-Rodriguez, M. A. Cobos-Peralta, Environmental assessment of energy production from anaerobic digestion of pig manure at medium-scale using life cycle assessment, *Waste Management*, Vol. 102, pp 85-96, 2020.

[3] I. Bassani, P. G. Kougias, I. Angelidaki, In-situ biogas upgrading in thermophilic granular UASB reactor: key factors affecting the hydrogen mass transfer rate, *Bioresource Technology*, Vol. 221, pp. 485-491, 2016.

[4] A. V. Prabhu, S. A. Raja, C. L. R. Lee, Biogas production from biomass waste– A review, *International Journal of Innovative Research and Technology*, Vol. 1, No. 8, pp. 73-83, 2014.

[5] A. Kasinath, S. Fudala-Ksiazek, M. Szopinska, H. Bylinski, W. Artichowicz, A. Remiszewska-Skwarek, A. Luczkiewicz, Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 150, pp. 111509, 2021.

[6] S. Zareei, J. Khodaei, Modeling and optimization of biogas production from cow manure and maize straw using an adaptive neuro-fuzzy inference system, *Renewable Energy*, Vol. 114(PB), pp. 423-427, 2017.

[7] E. M. M. Esteves, A. M. N. Herrera, V. P. P. Esteves, C. Morgado, R. V. Do, Life cycle assessment of manure biogas production: A review, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 219, pp. 411-423, 2019.

[8] F. Ghaemi, H. Sadeghi, Biogas production potential from animal waste in Iran. The 4th Iran Bioenergy Conference (Biomass and Biogas), Tehran, 2013.

[9] V. Karimian, Life cycle assessmnet of biogas production from animal manure and agricultural wastes. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, 2022.

[10] S. Zareei, Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran, *Renewable Energy*, Vol. 118, pp. 351-356, 2018.

[11] H.I. Romero, C.A. Vega, J.D. Zuma, F.F. Pesantez, A.G. Camacho, F.F. Redrovan, Comparison of the methane potential obtained by anaerobic codigestion of urban solid waste and lignocellulosic biomass, *Energy Reports*, Vol. 6, No. 1, pp. 776-780, 2020.

[12] S. K. S. Patel, M. Singh, P. Kumar, H. J. Purohit, V. C. Kalia, Exploitation of defined bacterial cultures for production of hydrogen and polyhydroxybutyrate from pea-shells, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 36, pp. 218-225, 2012.

[13] D. Yang, Y. Pang, H. Yuan, S. Chen, J. Ma, L. Yu, X. Li, Enhancing biogas production from anaerobically digested wheat straw through ammonia pretreatment, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 576-582, 2014.

[14] A. Funke, J. Mumme, M. Koon, M. Diakité, Cascaded production of biogas and hydrochar from wheat straw: Energetic potential and recovery of carbon and plant nutrients, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 58, pp. 229-237, 2013.

[15] P. Kaparaju, M. Serrano, A. B. Thomsen, P. Kongjan, I. Angelidaki, Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept, *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 9, pp. 2562-2568, 2009.

[16] D. Gallegos, H. Wedwitschka, L. Moeller, A. Zehnsdorf, W. Stinner, Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw, *Bioresource Technology*, Vol. 245, pp. 216-224, 2017.

[17] K. Risberg, L. Sun, L. Levén, S. J. Horn, A. Schnürer, Biogas production from wheat straw and manure - Impact of pretreatment and process operating parameters. *Bioresource Technology*, Vol. 149, pp. 232-237, 2013.

[18] M. A. Rahman, H. B. Møller, C. K. Saha, M. M. Alam, R. Wahid, L. Feng, Anaerobic co-digestion of poultry droppings and briquetted wheat straw at mesophilic and thermophilic conditions: Influence of alkali pretreatment, *Renewable Energy*, Vol. 128, pp. 241-249, 2018.

[19] S. Wei, H. Zhang, X. Cai, J. Xu, J., Fang, H. Liu, Psychrophilic anaerobic co-digestion of highland barley straw with two animal manures at high altitude for enhancing biogas production. *Energy Conversion and Management*, Vol. 88, pp. 40-48, 2014.

[20] P. Mirzaee, P. Salami, H. S. Akhijahani, S. Zareei, Life cycle assessment, energy and exergy analysis in an indirect cabinet solar dryer equipped with phase change materials, *Journal of Energy Storage*, Vol. 61, pp. 106760, 2023.

[21] T. Nemecek, J. Schnetzer, J. Reinhard, Updated and harmonised greenhouse gas emissions for crop inventories, *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 21, No.9, pp. 1361-1378, 2016.

[22] P. Salami, H. Ahmadi, A. Keyhani, Energy use and economic analysis of strawberry production in Sanandaj zone of Iran, *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, Vol. 14, No. 4, pp. 651-656, 2010.