فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال سوم/ شماره ۶/ بهار ۱۳۹۶/ صفحات ۱۳۴-۱۱۵

امکان‌سنجی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدی شیر با بکارگیری سامانه‌های بیوگاز

حمزه سلطانعلی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

Soltanali. hamzeh@yahoo. com

امین نیکخواه

عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت

Amin. Nikkhah@mail. um. ac. ir

عباس روحانی

استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

arohani@um. ac. ir

بخش دامپروری به عنوان یکی از عوامل اصلی آلودگی زیست محیطی شناخته شده است. این در حالی است که بخش دامپروری به‌صورت بالقوه قابلیت تولید انرژی از منابع سازگار با محیط‌زیست را دارا می‌باشد. بر این اساس، هدف از این مطالعه بررسی امکان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با بکارگیری سامانه‌های بیوگاز در واحدهای تولیدی شیر در کشور ایران می‌باشد. با توجه به این‌که نهاده‌های سوخت دیزل و الکتریسیته در این واحدها سهم نسبتاً بالایی از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند، از این رو بخش قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بر می‌گیرند. بررسی‌ها به منظور تعیین روند آلاینده‌های متصاعد شده ناشی از مصرف این نهاده‌ها، در پنج سناریو ۱٪، ۵٪، ۱۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ استفاده از انرژی بیوگاز در تأمین انرژی مورد نیاز واحدهای تولیدی شیر صورت گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که امکان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از انرژی بیوگاز در سناریوهای مختلف به ترتیب معادل ۱/۸۶، ۴/۹۲، ۹/۹۱، ۴۹/۹۰ و ۹۹/۵۷ درصد می‌باشد. از این‌رو، بکارگیری سامانه‌های بیوگاز در واحدهای تولیدی شیر علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز می‌تواند در کاهش گازهای گلخانه‌ای مؤثر واقع شود.

واژگان کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، سامانه بیوگاز، واحدهای تولید شیر، هاضم

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۴

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

۱. مقدمه

محدودیت منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر[1] ناشی از مصرف بی‌رویه از یک‌سو و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی از سوی دیگر بشر را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر[2] سوق داده است. یکی از چالش‌های مهم که منجر به رویکرد جهانی به سمت انرژی‌های پایدار شد، پیامدهای منفی ناشی از مصرف بی‌رویه منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی می‌باشد. از این رو، تمایل به استفاده از منابع تجدیدپذیر علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز می‌تواند گام مثبتی در کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی تلقی گردد[3]. از سوی دیگر با افزایش جمعیت جهانی و افزایش تقاضای مواد غذایی به‌ویژه مواد پروتئینی مانند لبنیات، واحدهای دامپروی به ویژه واحدهای صنعتی تولیدکننده شیر در مناطق مختلف گسترش یافتند.

۱-۱. واحدهای تولیدی شیر و محیط زیست

در فرآیند تولید در بخش دامپروری، استفاده از نهاده‌هایی چون سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته امری اجتناب‌ناپذیر است. مطالعات زیادی در مورد جریان انرژی در واحدهای تولیدکننده شیر صورت گرفته است که در غالب آن‌ها نهاده خوراک دام بالاترین مصرف و بعد از آن دو نهاده سوخت دیزل و الکتریسیته سهم نسبتاً بالایی از انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند[4].

براساس تحقیقات صورت گرفته در دهه اخیر، بیشترین مصرف سوخت دیزل مربوط به تهیه و فرآوری خوراک دام، تأمین سوخت مورد نیاز برای پمپ‌های خلأ شیردوشی و تمیز کردن محیط واحدهای تولیدی شیر گزارش شده است. از طرفی بیشترین سهم انرژی الکتریسیته مربوط به بخش

1. None-Renewable Energy
2. Renewable Energy
3. Bakhoda et al. , 2012; Pishgar-Komleh et al. , 2013; Hosseini et al. , 2013
4. Frorip et al. , 2012; Houston et al. , 2013

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

شیرسردکن و بخش گرمایش آب بوده و استفاده از آن جهت تأمین روشنایی و تهویه گاوداری در اولویت بعدی قرار دارد[۱].

بخش دامپروری به‌ویژه واحدهای تولیدکننده شیر به‌عنوان یکی از مهمترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای مطرح هستند[۲]. طبق مطالعات صورت گرفته واحدهای دامپروری حدود ۱۸ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مضر را به خود اختصاص می‌دهند. حجم بالایی از این گازهای مضر ناشی از متصاعد شدن گاز متان بوده که ۵۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدکننده را در برمی‌گیرد[۳].

طبق آمار سازمان خوارو بار جهانی[۴] میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش در مناطق مختلف با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت است. به‌طور مثال در کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی میانگین ایجاد آلاینده‌ها به ازای یک لیتر شیر تولیدی بین ۱ تا ۲ کیلوگرم کربن دی اکسیدِ معادل متغیر است. حال آن‌که این مقدار برای کشورهای آفریقایی به‌طور میانگین ۷/۵ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید به ازای یک لیتر شیر تولیدی است که رقم نسبتاً بالایی می‌باشد. در برخی از مطالعات، با توجه به مصرف نسبتاً بالای دو نهاده سوخت دیزل و الکتریسیته و در راستای رویکرد توسعه پایدار، نصب توربین بادی و استفاده از انرژی بیوگاز جهت تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز واحدهای تولیدی شیر پیشنهاد شده که علاوه بر رفع نیاز این مهم، می‌تواند در حفظ زیست بوم مؤثر واقع شود[۵].

در چند سال اخیر، سازمان‌های بین‌المللی محیط زیستی در قالب پیمان‌هایی از جمله پروتکل کیوتو[۶] و توافق‌نامه پاریس درصددند تا با وضع قوانین سختگیرانه برای واحدهای صنعتی مهم چون تولیدکنندگان شیر و لبنیات، بتوانند تا حد امکان از آلودگی‌های زیست محیطی در این بخش‌ها

1. Upton et al. , 2010; Upton et al. , 2013
2. Gerber et al. , 2011
3. FAO ,2006b; FAO, 2010
4. Food and Agriculture Organization (FAO)
5. Capareda et al. , 2010
6. Kyoto Protocol

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

بکاهند. به عنوان مثال پروتکل کیوتو در کشور اسپانیا در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸ به صورت جدی در واحدهای تولید شیر پیاده‌سازی شد[1]. در این راستا یکی از بهترین راهکارهای کاهش گازهای گلخانه‌ای، بکارگیری و نصب سامانه‌های بیوگاز در مزارع تولید شیر است که علاوه بر مدیریت اثرات زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌تواند یکی از روش‌های اساسی در جهت تأمین و حتی خودکفایی در تأمین انرژی این واحدها باشد، به‌طوری که امروزه سیستم‌های بیوگاز تقریباً حدود ۱۰درصد از کل انرژی‌های تجدیدپذیر را به خود اختصاص می‌دهند[2].

۱-۲. استفاده از سامانه‌های بیوگاز در کاهش گازهای گلخانه‌ای

بیوگاز یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که از طریق تخمیر بی هوازی مواد و ضایعات ارگانیک به‌دست می‌آید. این گاز عمدتاً شامل متان (CH_4) و دی‌اکسید کربن (CO_2) می‌باشد[3]. بیوگاز سهم عمده‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر را به خود اختصاص داده است، به نحوی که تعداد ۲۷ میلیون هاضم بیوگاز در چین[4]، چهار میلیون هاضم در هند[5]، ۸۷۲۶ هاضم در آلمان[6] و ۱۷۰۰ هاضم در ایتالیا[7]، مشغول به تولید بیوگاز می‌باشند. بنابراین در سال‌های اخیر استفاده از انرژی بیوگاز در بسیاری از نقاط دنیا برای تولید انرژی در واحدهای دامپروری پذیرفته شده است و بسیاری از کشورها برنامه‌هایی برای حمایت‌های علمی و مالی از نصب هاضم‌های بی‌هوازی در دامپروری‌ها دارند.

از این رو موج عظیمی از کشورهای اروپایی درصدد احداث نیروگاه‌های بی‌هوازی جهت تولید برق و گرما از انرژی بیوگاز می‌باشند. در کنار تأمین انرژی از سیستم‌های بیوگاز، امکان کاهش انواع آلاینده‌ها وجود دارد، به‌طوری که بررسی چرخه حیات اثرات زیست محیطی مربوط به تولید یک

1. De Vries and De Boer, 2010; FAO, 2010; Frorip et al. , 2012; Marañón et al. , 2011; Steinfeld et al. , 2006
2. Maghanaki et al. , 2013; Hosseini et al. , 2013
3. Chung et al. , 2017
4. Bond and Templeton, 2011
5. همان
6. EurObserv'ER, 2015
7. Bacenetti et al. , 2016; Negri et al. , 2014

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

سامانه بیوگاز نشان داد که فاکتور تأثیر پتانسیل گرمایش جهانی[1] که حاوی گازهای گلخانه‌ای مضری چون CO_2، CH_4 و N_2O است تا ۵۰ درصد قابل کاهش است[2].

در ایالت ورمانت (درشمال شرق ایالات متحده) استفاده منسجم و اصولی مخازن بیوگاز در واحدهای تولید شیر پیشنهاد شد. در این ایالت کمتر از یک درصد از این واحدها به این سامانه مجهز بودند. در واقع با مدیریت کود دامی می‌توان از یک طرف در تأمین انرژی مورد نیاز برای دامپروری اقدام کرده و از طرف دیگر با محبوس کردن گازهای مضری چون متان امکان کنترل یا کاهش آن وجود دارد[3].

مطالعه‌ای در شمال کشور اسپانیا در مورد نقش هاضم‌های بی‌هوازی در جهت کاهش اثرات زیست محیطی در مزارع تولیدی شیر صورت گرفت که در صورت بکارگیری و نصب هاضم‌های بی‌هوازی در مزرعه می‌توان از تولید ۹۷۸ تا ۱۷۷۶ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در سال در هر مزرعه پیشگیری کرد[4]. بررسی اثرات زیست محیطی در واحدهای لبنی در کشور کانادا که دارای یک واحد بیوگاز بودند، نشان داد که استفاده از این سیستم در گاوداری‌ها می‌تواند فاکتورهای تأثیرگذار بر محیط زیست مانند تخلیه منابع فسیلی ناشی از مصرف سوخت دیزل و پتانسیل گرمایش جهانی را تا ۸۰ درصد کاهش دهد[5].

در کشور ایران بکارگیری سامانه‌های بیوگاز به علت هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا و عدم شناخت کافی در مزارع تولیدی شیر هنوز نهادینه نشده است. از طرفی مطالعات قابل توجهی در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای و امکان بکارگیری مخازن بیوگاز در این بخش صورت نگرفته است.

1. Anaerobic Digestion (AD)
2. Whiting and Azapagic, 2014
3. FAO, 2006b
4. Marañón et al. , 2011
5. Zhang et al. , 2013

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

مطالعات جامع دیگری نیز در زمینه امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها در سایر نقاط دنیا با سامانه‌های بیوگاز انجام شده است[۱].

۱-۳. چالش‌های پیشرو استفاده از انرژی بیوگاز

در حالت کلی، تجهیز و نصب مخازن بیوگاز در واحدها تولیدی شیر به تنهایی نمی‌تواند در کاهش اثرات زیست محیطی مؤثر واقع شود. در واقع یکی از مباحث بسیار مهمی که کمتر بدان اشاره می‌شود، بحث مدیریت صحیحِ واحدها یا مخازن بیوگاز است. درحال حاضر محققان، پژوهش‌های خود را در مورد آلاینده‌های به‌وجودآمده از نیروگاه‌های بیوگاز معطوف کرده‌اند. به عقیده آن‌ها درصورتی که در نحوه مدیریت در مخازن بیوگاز تغییرات اساسی اعمال نشود نه تنها کنترل و کاهش آلاینده‌ها صورت نمی‌گیرد، بلکه منجر به افزایش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد. از این رو مدیریت صحیح و اتخاذ بهترین روش‌های تلفیقی جهت تولید انرژی پاک از مخازن بیوگاز امری اجتناب ناپذیر است[۲].

امروزه به منظور بالابردن عملکرد مخازن بیوگاز در کاهش و محبوس کردن مقدار کربن، فرآیند مینرالیزاسیون کربن[۳] مطرح است. این طرح که هنوز در مرحله پایلوت آزمایشگاهی است تأثیر به‌سزایی در کاهش آلاینده‌ها در مخازن بیوگاز دارد، به‌طوری که می‌تواند عملکرد آن را به بالای ۷۰ درصد در جهت کنترل وکاهش آلاینده‌ها، ارتقا دهد[۴]. از این رو، استفاده از بهترین روش‌ها در بکارگیری و نصب مخازن بیوگاز در واحدهای تولید شیر در راستای مدیریت سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و نیز پسماند دام‌ها که قابلیت انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای را دارا می‌باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر پسماند دام‌ها در مزارع تولید شیر به جهت تولید بیوگاز، از سایر ضایعات استحصال شده در بخش‌های کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد که در

1. Abu-Ashour et al. , 2010; Chun et al. , 2014; Dieterich et al. , 2013; Lansche and Müller, 2012; Massé et al. , 2011; Meyer et al. , 2012; Rehl and Müller, 2011; Weiske et al. , 2006
2. Lansche and Müller, 2012; Battini et al. , 2014
3. Carbon mineralization
4. Starr et al. , 2014

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

جدول(۱) به آن اشاره شده است[1]. در حال حاضر تولید انرژی از طریق هضم مشترک[2] پسماند دام با سایر ضایعات صنعتی یا شهری مورد توجه قرار گرفته است. به طوری که این روش نسبت به سایر روش‌هایی که درآن ضایعاتی چون پسماند دام بدون هیچ تلفیقی در مخازن بیوگاز استفاده می‌شوند، می‌تواند در کاهش اثرات سوء زیست محیطی مؤثرتر واقع گردد[3].

با توجه به مطالب ذکر شده، تاکنون مطالعه‌ای به بررسی اثر استفاده از سامانه‌های بیوگاز بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید در دامپروری‌های ایران نپرداخته است. از این‌رو، این مطالعه به تبیین تغییرات میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دامپروری‌های ایران از طریق نصب سامانه‌های بیوگاز می‌پردازد. همچنین، سناریوهای مختلفی نیز برای این مورد ارائه می‌گردد و مقدار تغییرات انتشارات گازهای گلخانه‌ای در هر یک از این سناریوها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱. عملکرد بیوگاز تولیدی در بخش‌های صنعتی و کشاورزی

تولید بیوگاز (مترمکعب به ازای یک تن)	ضایعات کشاورزی	تولید بیوگاز (مترمکعب به ازای یک تن)	ضایعات شهری و تجاری	تولید بیوگاز (مترمکعب به ازای یک تن)	تولید کود
۹۸	ضایعات علوفه	۳۵	کارخانه رب‌سازی	۲۰	گاوهای شیری
۱۹۰	سیلو ذرت	۳۵	فرآوری سبزیجات	۳۴	گاو پرواری
۱۸۳	سیلو گراس	۶۱۲	کیک بذر	۱۸	خوک
۵۹۷	دانه آسیاب شده	۹۰	ضایعات رستوران	۹۳	مرغداری
۱۹۵	سیلو گیاه دانه‌ای	۱۰۸	ضایعات روغنی		

مأخذ: Banks et al. , 2006

1. Banks et al. , 2006
2. Co-digestion
3. Banks et al. , 2011

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور کاهش گازهـای گلخانـه‌ای، امکـان بکـارگیریِ سـامانه‌هـای بیوگـاز در واحدهای تولید شیر در کشور ایران از طریق مطالعات صورت گرفته، انجام شد. بدین صورت که در این پژوهش، ابتدا تحقیقات انجام شده در مورد بررسی جریان انرژی و انتشار گازهـای گلخانـه‌ای در ایران تعیین شدند. در جدول (۲) مطالعات صورت گرفته و کل انرژی مصرفیِ ورودی در ایـن بخـش درکشور ایران آورده شده است. سهم هریک از انرژی‌های مصرفی مربوط به نهـاده سـوخت دیـزل و الکتریسیته در این واحدها از کل انرژی مصرفی استخراج شد و به دنبال آن به منظور رسیدن به مقدار مشخصی از انرژی مصرفی مربوط به سوخت دیزل و الکتریسیته، میانگین آن‌ها نظر گرفته شد.

جدول ۲. مجموع انرژی ورودی به ازای یک تن شیر تولیدی در واحدهای تولیدی شیر ایران

منابع	انرژی مورد نیاز الکتریسیته (مگاژول بر تن شیر)	انرژی مورد نیاز سوخت دیزل (مگاژول / تن شیر)	کل انرژی مصرفی (مگاژول / تن شیر)	موقعیت تحقیق
(سفیدپری و همکاران، ۱۳۹۱) (Sefeedpari, 2012;	۲۰۴/۸۸	۱۰۸۸	۶۴۰۰	استان تهران
(سلطانعلی و همکاران، ۱۳۹۵)	۸۱۳/۸۸	۱۶۴۲/۲	۷۱۴۰	استان خراسان رضوی
(Maysami et al., 2013)	۲۴۳/۶	۵۶۸/۴	۵۸۰۰	شمال غرب ایران
سلطانعلی و همکاران، ۱۳۹۳	۲۹۷/۴۱	۹۷۱/۳۷	۷۵۱۳	استان گیلان
(نبی‌پور افروز و همکاران، ۱۳۹۵)	۲۷۸/۳۲	۱۲۲۱/۱۱	۷۱۸۳	استان اصفهان
(قبادی و همکاران، ۱۳۹۴)	۱۱۱۴/۱۶	۸۲۱/۰۱	۵۸۶۴	استان قزوین
-	۴۹۲/۰۴	۱۰۵۲/۰۱	۵۴۵۲/۸۳	میانگین

ماخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

ضرایب معادل انرژی و فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ایِ سوخت دیزل، الکتریسیته و بیوگاز در جدول(۳) ارائه شده است. میزان انرژی حاصل از بیوگاز در مقایسه با سوخت دیزل و الکتریسیته قابل توجه است. از این رو بکارگیری سامانه‌های بیوگاز می‌تواند نقش به‌سزایی در تأمین انرژی مورد نیاز در بخش های مختلف کشاورزی و صنعتی مانند واحدهای تولید شیر داشته باشد. از طرفی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از بکارگیری مخازن بیوگاز در مقایسه با سایر سوخت‌ها بسیار ناچیز است. بدین جهت بود که در اواخر قرن ۱۹ میلادی به عنوان سوخت پاک معرفی شد[1].

جدول ۳. ضرایب معادل انرژی و فاکتور انتشارگازهای گلخانه‌ای انواع سوخت‌ها

انواع سوخت	مگاژول بر واحد	کیلوگرم دی کربن اکسید بر واحد	منابع مورد استفاده
سوخت دیزل (لیتر)	۴۷/۸	۲/۷۶	(Kraatz, 2012; Dyer and Desjardins, 2003b)
الکتریسیته (کیلووات -ساعت)	۱۱/۹۳	۰/۶۰۸	(Liang et al. , 2013)
بیوگاز (مترمکعب)	۲۰/۹۲	۰/۰۰۵	(Abbasi et al. , 2012)

ماخذ: نتایج تحقیق

1. Abbasi et al. , 2012

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

۳. تحلیل یافته‌ها

در این مطالعه، به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت دیزل و الکتریسیته در واحدهای تولیدی شیر، پنج سناریو مختلف به ترتیب ۱٪، ۵٪، ۱۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ استفاده از انرژی بیوگاز مد نظر قرار گرفت. مفهوم ۱٪ این است که به منظور تأمین انرژی مورد نیاز سوخت دیزل و الکتریسته در واحدهای تولیدی شیر در ایران ۹۹٪ از سوخت و الکتریسیته موجود در واحد تولیدی شیر و ۱٪ باقی‌مانده جهت تولید انرژی از مخازن بیوگاز استفاده شود. ازطرفی مفهوم ۱۰۰٪ این است که به منظور تأمین انرژی مورد نیاز در در این واحدها اعم از سوخت دیزل و الکتریسیته از انرژی بیوگاز استفاده شود و مفهوم سایر درصدها نیز بدین منوال است. در جدول (۴) انواع سناریوهای مختلف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با بکارگیری مخازن بیوگاز ارائه شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

جدول ۴. اعمال انواع سناریوها در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با کمک سامانه‌های بیوگاز

انواع سناریوها	سوخت فسیلی (مگاژول / تن شیر)	انرژی سوخت از بیوگاز (مگاژول / تن شیر)	الکتریسیته (مگاژول / تن شیر)	میزان بیوگاز در تأمین سوخت (مترمکعب/ تن شیر)	میزان بیوگاز در الکتریسیته (مترمکعب/ تن شیر)	میزان آلاینده سوخت (کیلوگرم دی‌اکسیدکربن/ تن شیر)	میزان آلاینده الکتریسیته (کیلوگرم دی‌اکسیدکربن / تن شیر)	میزان آلاینده از سوخت جایگزین (کیلوگرم کربن دی اکسید/ تن شیر)	میزان آلاینده از الکتریسیته جایگزین (کیلوگرم کربن دی اکسید معادل/ تن شیر)	درصد کل انشار گازهای گلخانه‌ای ذخیره شده (کنترل شده) ناشی از سوخت بیوگاز به جای سوخت فسیلی (کیلوگرم کربن دی اکسید معادل/ تن شیر)	درصد کل انشار گازهای گلخانه‌ای ذخیره شده (کنترل شده) با بکارگیری بیوگاز در تامین الکتریسیته (کیلوگرم کربن دی اکسید معادل/تن شیر)
سناریو یک (٪۱)	۱۰۴۱/۴۸	۱۰/۵۳	۴۷۸/۱۱	۰/۵۰	۰/۵۷	۶۰/۱۳	۲۴/۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۹	۲/۸۲
سناریو دو (٪۵)	۹۹۹/۴۰	۵۲/۶۱	۴۶۷/۴۳	۲/۵۱	۱/۱۷	۵۷/۷۰	۲۳/۸۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۴/۸۸	۴/۹۶
سناریو سه (٪۱۰)	۹۴۶/۸۰	۱۰۵/۲۱	۴۴۲/۸۳	۵/۰۲	۲/۳۵	۵۴/۶۶	۲۲/۵۶	۰/۰۲۵	۰/۰۱۱	۹/۸۷	۹/۹۶
سناریوچهار (٪۵۰)	۵۲۶/۰۰	۵۲۶/۰۱	۲۴۶/۰۲	۲۵/۱۴	۱۱/۷۶	۳۰/۳۷	۱۲/۵	۰/۱۲	۰/۰۵۰	۴۹/۸۶	۴۹/۹۴
سناریوپنج (٪۱۰۰)	۰	۱۰۵۲/۰۱	۰	۵۰/۲۸	۲۳/۵۲	۰	۰	۰/۲۵	۰/۱۱	۹۹/۵۸	۹۹/۵۶

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، به‌منظور تأمین سوخت دیزل مورد نیاز به ازای یک تن شیر تولیدی از طریق سامانه‌های بیوگاز به حجم بالاتری از انرژی بیوگاز نیاز می‌باشد، چرا که مقدار انرژی مصرفی جهت تأمین سوخت دیزل در واحدهای تولیدی شیر به ازای یک تن شیر تولیدی ۱۰۵۲/۰۱ مگاژول است. این در حالی است که این مقدار انرژی در مورد نهاده الکتریسیته برابر ۴۹۲/۰۴ مگاژول است. کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از ۹۹٪ مصرف سوخت دیزل و الکتریسیته و ۱٪ انرژی بیوگاز به ترتیب برابر ۶۰/۱۳ و ۲۴/۳۶ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر به دست آمد که نشان می‌دهد، میزان انتشار آلاینده‌های مضر ناشی از مصرف سوخت دیزل تقریباً ۲/۵ برابر الکتریسیته است.

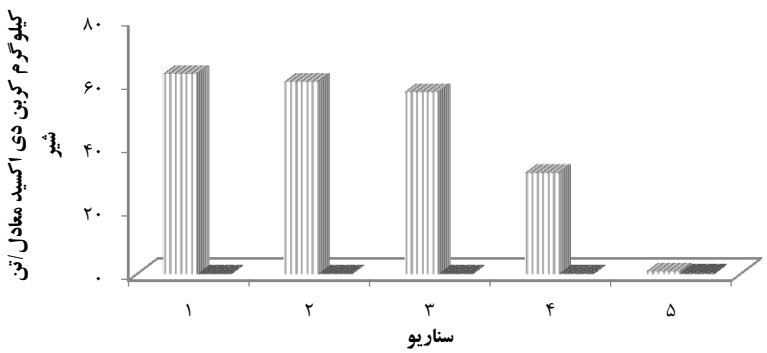
امکان کاهش گازهای گلخانه‌ای با جایگزینی سوخت بیوگاز به جای سوخت فسیلی در سناریوهای مختلف وجود دارد. در سناریو یک به منظور تأمین سوخت مورد نیاز ۹۹٪ از سوخت دیزل و ۱٪ از انرژی بیوگاز استفاده شد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای این دو حالت به ترتیب برابر ۶۰/۱۳ و ۰/۰۰۲ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر تولیدی بود. میزان تأثیرگذاری سامانه بیوگاز به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای به دلیل اختصاص ناچیز آن برای تأمین سوخت، نسبتاً پایین بود. در سناریوی چهار که ۵۰٪ از سوخت مورد نیاز از انرژی بیوگاز تأمین می‌شود، مقادیر این دوعدد ۳۰/۳۷ و ۰/۱۲ کیلوگرم کربن دی اکسید به ازای یک تن شیر تولیدی است که نشان می‌دهد سامانه‌های بیوگاز قابلیت همپوشانی بالایی در کنترل و کاهش آلاینده‌ها دارند. بدین مفهوم که در سناریوهای بالاتر میزان کربن متصاعد شده ناشی از مصرف سوخت با بکارگیری سیستم‌های بیوگاز قابل مقایسه با انتشارات حاصله از سوخت دیزل نیست.

در سناریو پنج فرض بر این است که برای تأمین سوخت موردنیاز واحدهای تولیدی شیر از سوخت‌های فسیلی استفاده‌ای نگردد و از طرفی از ۱۰۰٪ انرژی بیوگاز در تأمین سوخت دیزل بکار گرفته شود، که در این صورت مقادیر نشر کربن دی اکسید به ازای یک تن شیر تولیدی با فرض مصرف ۱۰۰٪ بیوگاز و صفر درصد سوخت دیزل برابر ۰/۲۶ دی‌اکسیدکربن معادل، به ازای تولید یک تن شیر خواهد بود که با مقدار واقعی خود (۱۰۰٪ استفاده از سوخت دیزل) که برابر ۶۰/۶۸

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

کیلوگرم کربن دی اکسید معادل است، اختلاف قابل توجهی وجود دارد. به عبارتی امکان کاهش آلاینده‌ها تا ۹۹/۵۸ درصد امکان پذیر است. بدین مفهوم است که اگر برای تأمین سوخت دیزل مورد نیاز از بیوگاز استفاده شود، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به شدت کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، هرچه از سناریو یک که تنها ۱٪ بیوگاز جهت تأمین سوخت مصرفی در واحدهای تولیدی شیر نظر گرفته شده تا سناریو پنج که ۱۰۰٪ بیوگاز استفاده شده است، کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان نشر گازهای گلخانه‌ای مشاهده می‌گردد. این مورد با نتایج (Weiske et al. , 2006) مطابقت دارند. آن‌ها اذعان نمودند که جایگزینی سوخت دیزل در واحدهای تولید محصولات لبنی در اروپا می‌تواند تا ۹۶ درصد، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد.



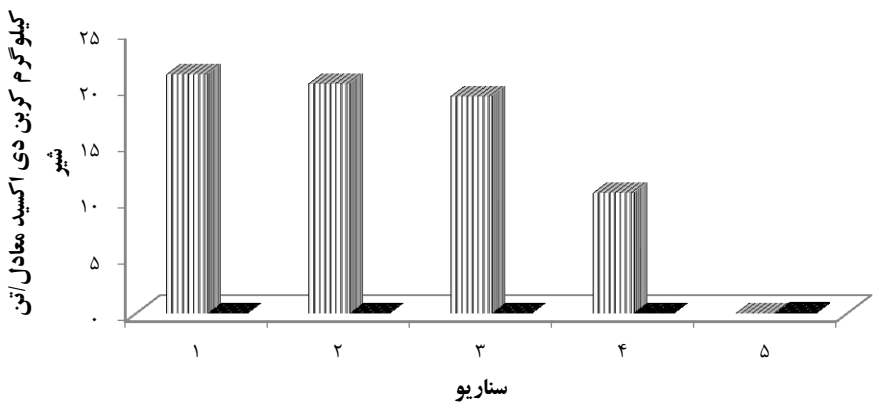
شکل ۱. روندکاهش گازهای گلخانه‌ای با جایگزینی سوخت بیوگاز به جای سوخت فسیلی در واحدهای تولیدی شیر در سناریوهای مختلف

از طرفی امکان کاهش گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدی شیر با بکارگیری سامانه‌های بیوگاز در راستای تأمین الکتریسیته مورد نیاز وجود دارد. در سناریو یک که تنها از ۱٪ از انرژی بیوگاز جهت تأمین الکتریسیته استفاده شد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب ۲۴/۳۶ و ۰/۰۰۲کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر تولیدی به‌دست آمد که نشان می‌دهدکه تنها با اختصاص۱٪ انرژی بیوگاز به‌منظور تأمین الکتریسیته موردنیاز، امکان کاهش گازهای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

گلخانه‌ای تا ۲/۸۲ درصد کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر وجود دارد. از طرفی با انتخاب سناریوهای با درصد بالاتر میزان نشر آلاینده‌ها با بکارگیری سیستم‌های بیوگاز به شکل محسوسی کاهش می‌یابد. مقادیر این دو عدد در سناریو سه با ۹۰٪ درصد مصرف الکتریسیته موجود و ۱۰٪ استفاده از بیوگاز به ترتیب برابر ۲۲/۵۶ و ۰/۰۱۱ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر تولیدی به دست آمد. به‌عبارتی، در این سناریو امکان کاهش گازهای مضر تا ۹/۸۷ درصد امکان پذیر است.

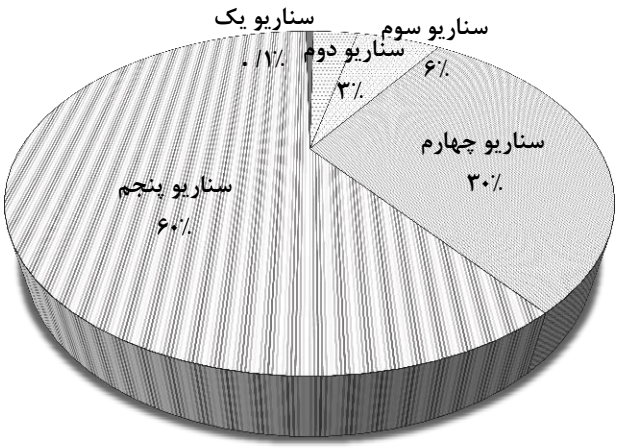
از سوی دیگر اگر برای تأمین الکتریسیته مورد نیاز واحدها به طور کامل یا ۱۰۰٪ از انرژی بیوگاز استفاده شود، میزان گازهای گلخانه‌ای کاهش یافته برابر ۰/۱۱ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به ازای یک تن شیر تولیدی خواهد بود. در مقایسه با مقدار واقعی (۱۰۰٪ الکتریسیته موجود) که برابر ۲۵/۰۷ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک تن شیر تولیدی بود، تا ۹۹/۵۶ درصد امکان کاهش آلاینده‌های مضر وجود دارد. به عبارتی اگر به منظور تأمین الکتریسیته مورد نیاز به طور کامل از بیوگاز استفاده گردد، قابلیت کاهش گازهای گلخانه‌ای با حذف برق شهر جهت تأمین الکتریسیته به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. شکل (۲) روند کاهش این آلاینده‌ها از سناریو یک به سناریو پنج با نصب مخازن بیوگاز را نشان می‌دهد.



شکل ۲. کاهش گازهای گلخانه‌ای در تأمین الکتریسیته مورد نیاز با بکارگیری بیوگاز در سناریوهای مختلف

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

در شکل (۳) میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای ذخیره شده در سناریوهای مختلف نسبت به یکدیگر، با نصب سامانه‌های بیوگاز جهت تأمین انرژی (سوخت دیزل و الکتریسیته) در تولیدی شیر در کشور ایران، به نمایش درآمده است. به عبارتی این شکل به تفسیر، مقادیر کاهشی سناریوهای بیوگاز نسبت به یکدیگر در کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد. از طرفی امکان مقایسه سناریوهای مختلف به منظور کاهش آلاینده‌ها وجود دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان کاهش آلاینده‌ها در سناریوهای یک تا پنج نسبت به یکدیگر به ترتیب ۱، ۳، ۶، ۳۰ و ۶۰ درصد محاسبه شدند. بر این اساس، در سناریو اول که تنها یک درصد از انرژی بیوگاز جهت تأمین انرژی مورد نیاز دامپروری استفاده شد، امکان کاهش گازهای گلخانه‌ای پایین بوده، اما این مقدار در مقایسه با انتخاب سناریوهای بالاتر، مقدار کنترل یا ذخیره‌سازی آلاینده‌ها قابل توجه برآورد شد.



شکل ۳. میانگین درصد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یافته با نصب بیوگاز در سناریوهای مختلف

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

٤. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روند مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر (سوخت و الکتریسیته) در واحدهای تولیدی شیر در کشور ایران، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن‌ها، با استفاده از انرژی بیوگاز در قالب پنج سناریو مختلف بررسی شد. با انتخاب سناریوهای با سهم بیش‌تر بیوگاز در تأمین انرژی، امکان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. به‌طوری که میانگین مقادیر آن‌ها در سناریو یک و پنج به ترتیب ۱/۸۶ و ۹۹/۵۷ درصد است. خودکفایی در تأمین انرژی مورد نیاز واحدهای تولیدی شیر سبب کاهش معنی‌داری در انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. حال آن‌که این خودکفایی در تأمین انرژی در بخش دامپروری در مقیاس زیاد، نیز می‌تواند به عنوان طرحی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ایران باشد. لذا پیشنهاد می‌شود حمایت‌های مالی و علمی از سوی مسئولین ذی‌ربط با تشویق مدیران دامپروری در حفظ محیط‌زیست و با نصب هاضم‌های بی‌هوازی بیوگاز در قالب طرحی با هدف کاهش کربن صورت پذیرد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

منابع

سفیدپری، پریا؛ رفیعی، شاهین و اسداله اکرم (۱۳۹۱)، "مقایسه شاخص‌های مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای صنعتی پرورش دام شیری و مرغ تخمگذار در استان تهران"، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

سلطانعلی، حمزه؛ عمادی، باقر؛ روحانی، عباس و مهدی خجسته‌پور (۱۳۹۳)، "مدل‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای صنعتی پرورش دام شیری استان گیلان"، *مجله پژوهش در نشخوارکنندگان*، شماره چهارم، جلد دوم.

سلطانعلی، حمزه؛ نیکخواه، امین و عباس روحانی (۱۳۹۵)، "مدیریت مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها درواحد صنعتی تولید شیر"، *نشریه انرژی ایران*، در دست چاپ.

قبادی، مسعود؛ محمدزمانی، داود و احسان شهرامی (۱۳۹۴)، "ارزیابی شاخص‌های انرژی در گاوداریهای شیری استان قزوین"، *فصلنامه مهندسی زیست سامانه*، جلد چهارم، شماره چهارم.

نبی‌پور افروز، حسن؛ عابدی فیروزجایی، روح اله و رسول لقمانپور زرینی (۱۳۹۵). "محاسبه شاخص‌های مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سالن‌های پرورش گاو شیری در استان اصفهان"، اولین همایش ملی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، ایران.

Abbasi, T.; Tauseef, S. M. and S.A. Abbasi (2012), "Anaerobic Digestion for Global Warming Control and Energygeneration-An Overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 3228- 3242.

Abu-Ashour, J.; Abu Qdais, Hani. and M. Al-Widyan (2010), "Estimation of Animal and Olive Solid Wastes in Jordan and Their Potential as Asupplementary Energy Source", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp. 2227-2231.

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

Bakhoda, H.; Almassi, M.; Moharamnejad, N.; Moghaddasi, R. and M. Azkia (2012), "Energy Production Trend in Iran and Its Effect on Sustainable Development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,Vol. 16, pp. 1335– 1339.

Banks, C.h.J.; Andrew, M.S.; Heaven, S. and K. Riley (2011), "Energetic and Environmental Benefits of Co-Digestion of Food Waste and Cattleslurry: A Preliminary Assessment", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 56, pp. 71–79.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

Banks, C.J.; Salter, A.M. and M. Chesshire (2006), "Potential of Anaerobic Digestion for Mitigation of Greenhouse Emossions and Prodution of Renewable Energy from Agriculture: Barriers and Incentives to Widespread Adoption in Europe", *7th International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries.* Amesterdam.

Battini, F.; Agostini, A.; Boulamanti, A.K.; Giuntoli, J. and S. Amaducci (2014), "Mitigating the Environmental Impacts of Milk Production via Anaerobicdigestion of Manure: Case Study of a Dairy Farm in the Po Valley", *Science of the Total Environment*, Vol. 481,pp. 196-208.

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

Capareda, S.C.; Mukhtar, S.; Engler, C. and L.B. Goodrich (2010), "Energy Usage Survey of Dairies in the Southwestern United States", *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Vol. 26, pp. 667-675.

Chung, W. J.; Park, H.W. and D.W. Park (2017), "Effects of Arc Discharge Mode on the Efficiency of Biogas Reforming in an AC-Pulsed Arc Plasma System", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 37, pp. 383–399.

Chun-Youl, B.; Kun-Mo, L. and P. Kyu-Hyun (2014), "Quantification and Control of the Greenhouse Gas Emissions from a Dairy Cow System", *Journal of Cleaner Production*.

De Vries, M. and I.J.M. De Boer (2010), "Comparing Environmental Impacts for Livestockproducts: A Review of Life Cycle Assessments", *Livestock Sciences*, Vol.128, pp. 1-11.

Dieterich, B.; Finnan, J.; Hochstrasser, T. and C. H. Müller (2013), "The Greenhouse Gas Balance of a Dairy Farm as Influencedby the Uptake of Biogas Production", Bioenerg. Res.

Dyer, J.A. and R.L. Desjardins (2003b), "Simulated Farm Fieldwork, Energy Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions in Canada", *Biosystems Engineering*, Vol. 85, No. 4, pp. 503-513.

EurObserv'ER (2015), "15th Annual Overview Barometer" retreived from: http://www. eurobserv-er. org/15th-annual593overview-barometer/.

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

FAO (2010), "Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment", *Food and Agriculture Organization*. Rome, Italy.

Frorip, J.; Kokin, E.; Praks, J.; Poikalainen, V.; Ruus, A.; Veermäe, I.; Lepasalu, L.; Schäfer, W.; Mikkola, H. and J. Ahokas (2012), "Energy Consumption in Animal Production – Case Farm Study", *Agronomy Research Biosystem Engineering* ,Vol. 1, pp. 39-48.

Gerber, P.; Vellinga, T.; Opio, C. and H. Steinfeld (2011), "Productivity Gains Agreenhouse Gas Emissions Intensity in Dairy Systems", *Livestock Science*, Vol. 139, pp. 100–108.

Hosseini, S.E.; Mahmoudzadeh Andwari, A.; Abdul Wahid, M. and G.H. Bagheri (2013), "A Review on Green Energy Potentials in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 27, pp. 533-545.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

Houston, C.; Gyamfi, S. and Whale, J. (2013), "Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Generation Opportunities for Small Scale Dairy Farms: A Case Study in Prince Edward Island, Canada", *Renewable Energy*, pp. 1-10.

Kraatz, S. (2012), "Energy Intensity in Livestock Operations – Modeling of Dairy Farming Systems in Germany", *Agricultural Systems*, Vol. 110, pp. 90-106.

Lansche, J. and J. Müller (2012), "Life Cycle Assessment of Energy Generation of Biogas Fedcombined Heat and Power Plants: Environmental Impact of Differentagricultural Substrates", *Engineering in Life Sciences*, Vol. 12, No. 3, pp. 313–320.

Liang, S.; Xu, M. and T. Zhang (2013), "Life Cycle Assessment of Biodiesel Production in China", *Bioresource Technology*, Vol. 129, pp. 72-77.

Maghanaki, M. M.; Ghobadian, B.; Najafi, G. and R. Janzadeh Galogah (2013), "Potential of Biogas Production in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 28, pp. 702–714.

Marañón, E.; Salter, A. M.; Castrillón, L.; Heaven, S. and Y. Fernández-Nava (2011), "Reducing the Environmental Impact of Methane Emissions from Dairy Farms Byanaerobic Digestion of Cattle Waste", *Waste Management*, Vol. 31, pp. 1745-1751.

Massé, D.I.; Talbot, G. and Y. Gilbert (2011), "On Farm Biogas Production: A Method to Reduce GHG Emissions and Develop More Sustainable Livestock Operations", *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 166– 167, pp. 436– 445.

Maysami, M. J.; Olbertz, H. and F. Ellmer (2013), "Energy Efficiency in Dairy Cattle Farming and Related Feed Production in Iran", *Faculty of Agriculture and Horticulture*, Berlin: Humboldt-Universitätzu Berlin.

Meyer-Aurich, A.; Schattauer, A.; Jürgen Hellebrand, H.; Klauss, H.; Plöchl, M. and W. Berg (2012), "Impact of Uncertainties on Greenhouse Gas Mitigation Potential of Biogas", *Renewable Energy*, Vol. 37, pp. 227-284.

Negri, M.; Bacenetti, J.; Manfredini, A.; Lovarelli, D.; Maggiore,T. M.; Fiala, M. and S. Bocchi (2014), "Evaluation of Methane Production From Maize Silage by Harvest of Different Plant Portions", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 67, pp. 339-346.

Pishgar-Komleh, S.H.; Omid, M. and M.D. Heidari (2013), "On the Study of Energy Use and GHG (Greenhouse Gas) Emissions in Greenhouse Cucumber Production in Yazd Province", *Energy*, Vol. 59, pp. 63-71.

Rehl, T. and J. Müller (2011), "Life Cycle Assessment of Biogas Digestate Processing Technologies Resources", *Conservation and Recycling*, Vol. 56, pp. 92–104.

Sefeedpari, P (2012) "Assessment and optimization of energy consumption in dairy farm: energy efficiency. " Iranica Journal of Energy & Environment, pp. 213-224.

Starr, K.; TalensPeiro L.; Lo27mbardi, L.; Gabarrell, X. and G. Villalba (2014), "Optimization of Environmental Benefits of Carbon Mineralizationtechnologies for Biogas Upgrading", *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-10.

Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M. and C. De Haan (2006), *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, in FAO. Rome,Italy.

Upton, J.; Humphreys, J.; Groot Koerkamp, P. W. G.; French, P.; Dillon, P. and D. Boer, I.J.M (2013), "Energy Demand on Dairy farms in Ireland", *American Dairy Science Association*.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]

Upton. J.; Murphy, M.; French, P. and P. Dillon (2010), "Dairy Farm Energy Consumption", *Teagasc National Dairy Conference*, Teagasc Province,USA.

Weiske, A.; Vabitsch, A.; Olesen, J. E.; Schelde, K.; Michel, J.; Friedrich, R. and M. Kaltschmitt (2006), "Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Europeanconventional and Organic Dairy Farming", *Agriculture, Ecosystems and Environment*,Vol. 112, pp. 221-232.

Weiske, A.; Vabitsch, A.; Olesen, J.E.; Schelde, K.; Michel, J.; Friedrich, R. and M. Kaltschmitt (2006), "Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in European Conventional and Organic Dairy Farming", *Agriculture, ecosystems & environment*, Vol. 112, No. 2, pp. 221-232.

Whiting, A. and A. Azapagic (2014), "Life Cycle Environmental Impacts of Generating Electricity and Heatfrom Biogas Produced by Anaerobic Digestion", *Energy*, pp.1-13.

Zhang, S.; Tony, X. Bi. and R. Clift (2013), "A Life Cycle Assessment of Integrated Dairy Farm-Greenhouse Systems in British Columbia", *Bioresource Technology*,Vol.150, pp. 496–502.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-30]