

مدیریت مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها در واحد صنعتی تولید شیر

حمزه سلطانعلی^۱، امین نیکخواه^۲، عباس روحانی^۳

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۵/۰۵/۱۰

تاریخ دریافت مقاله:

۹۴/۱۲/۱۷

چکیده:

مدیریت مصرف انرژی با توجه به کمبود منابع و افزایش قیمت حامل‌های انرژی‌های تجدیدناپذیر و نیز پیامدهای زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، هدف از این مطالعه بررسی جریان انرژی مصرفی و انتشار آلاینده‌ها در قالب گازهای گلخانه‌ای در واحد صنعتی تولید شیر در دانشگاه فردوسی مشهد است. مجموع انرژی‌های ورودی و کارایی انرژی به ازای تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۷/۷۳ مگاژول و ۰/۹۲ بود. دو نهاد خوراک دام و سوخت‌های فسیلی به ترتیب با سهم ۶۴ و ۲۳ درصد به عنوان پر مصرف‌ترین نهاده‌های انرژی شناخته شدند. از طرفی، دو نهاد سوخت دیزل و الکتریسیته به ترتیب با سهم ۶۵ و ۳۴ درصد بیش‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد حدود ۳۵ درصد از انرژی الکتریسیته مورد نیاز را می‌توان با بکارگیری سامانه بیوگاز (انرژی پاک) تامین کرد. همچنین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر رأس دام و تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۱۲۹۵/۱ و ۰/۱۴ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل محاسبه شد.

کلمات کلیدی:

کارایی انرژی، تولید شیر، بیوگاز، سوخت، آلاینده

- (۱) دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد
soltanali.hamzeh@yahoo.com
- (۲) دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد
farnood.nickhah@gmail.com
- (۳) استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
arohani@um.ac.ir

مقدمه

انرژی یک کالای مهم تجاری محسوب می‌شود که بیش‌ترین سهم را در تجارت بین‌المللی دارد. ایران یکی از کشورهای در حال توسعه و غنی از منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی است. این فراوانی نسبی منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر منجر به افزایش مصرف سرانه آن در مقایسه با کشورهایی با ساختار مشابه و منابع انرژی کم‌تر شده است [۲, ۲۷] به طوری که براساس مطالعات انجام شده، مصرف سرانه انرژی در کشور ایران در مقایسه با اغلب کشورهای عضو اپک بیش‌تر است [۲۵, ۲۶]. از طرفی، تنها یک درصد انرژی در ایران از منابع تجدیدپذیر تامین می‌شود [۶]. این در حالی است که در ایران به‌صورت بالقوه توانایی استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر از جمله باد، خورشید، زیست توده و ... وجود دارد. همچنین از طریق توجه و سرمایه‌گذاری در استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر، قابلیت افزایش سهم این منابع در مصرف سرانه انرژی در بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی و صنعتی وجود دارد. [۱۶, ۱۸, ۲۷].

امروزه بخش کشاورزی و نیز صنایع تبدیلی مرتبط با آن به منظور تامین مواد غذایی برای جمعیت در حال رشد به شدت به منابع انرژی وابسته است. حال آنکه نباید از این موضوع غافل شد که استفاده بی‌رویه از منابع انرژی‌های فسیلی و تجدیدناپذیر در بخش کشاورزی می‌تواند اثرات مخربی روی محیط زیست داشته باشد، به طوری که با افزایش درجه مکانیزاسیون فعالیت‌های کشاورزی و کاربرد انواع ماشین‌ها در این بخش، استفاده از سوخت‌های فسیلی افزایش پیدا کرده است که این سوخت‌ها یکی از منابع اصلی آلودگی زیست محیطی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در قرن حاضر هستند [۲۳]. مضاف بر اینکه، براساس مطالعات صورت گرفته، در حدود ۴۰ درصد انتشار گاز گلخانه‌ای مهم نیترواکسید، مربوط به بخش کشاورزی است [۲۷]. لذا ضرورت نگاه ویژه به فعالیت‌های این بخش با رویکرد مدیریت در محیط زیست وجود دارد.

صنعت دامپروری نیز یکی از منابع مهم تامین غذا برای جمعیت در حال رشد بوده و در راستای تامین و امنیت غذایی جامعه نقش اساسی ایفا می‌کند. همچنین فرآورده‌های صنعت دامپروری از جمله تولید شیر در سید غذایی جامعه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. میزان شیر تولیدی در کشور ایران از سال ۲۰۰۰ با تولیدی در حدود ۵ میلیون تن به بیش از ۷ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ رسیده است [۱۴].

مطالعاتی در زمینه میزان مصرف انرژی در واحدهای صنعتی تولید شیر صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات در ایران می‌توان به بررسی کارایی انرژی مصرفی در واحدهای تولید شیر در شمال غرب ایران اشاره کرد [۲۳]. مطالعه‌ای در زمینه بررسی انرژی مصرفی در ۶۰ واحد تولیدکننده شیر در کشور هند در مزارع لبنی با سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ انجام شد. میانگین کل انرژی ورودی برای هر رأس در یک دوره ۵۳۰۲۴/۲۵ مگاژول، بیش‌ترین نهاده مصرفی

خوراک دام با سهمی بیش از ۹۰ درصد و به دنبال آن نهاده نیروی انسانی بود. کارایی انرژی برای مزارع بزرگ و کوچک ۰/۱ و برای مزارع متوسط ۰/۰۸ اعلام شد. بهره‌وری انرژی حدود ۱۰۰ مگاژول به ازای ۳ لیتر شیر و به عبارتی ۰/۰۳ لیتر بر مگاژول گزارش شد [۱۲].

مطالعه‌ای موردی در یک واحد صنعتی تولید شیر در کشور استونی در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ صورت گرفته است. میزان انرژی ورودی در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به ازای یک لیتر شیر به ترتیب ۵/۴ و ۵/۳ مگاژول و کارایی انرژی در این سالها به ترتیب ۱/۸۸ و ۱/۸۵ اعلام شد [۱۵]. تحقیق دیگری در ۲۲ مزرعه تولید شیر در کشور ایرلند انجام و سهم انرژی‌های مستقیم و غیر مستقیم به ترتیب ۸۰ و ۲۰ درصد اعلام شد. الکتریسیته با سهمی حدود ۶۰ درصد بیش‌ترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد [۳۷]. جریان انرژی در واحدهای دامپروری در کشور آلمان مورد ارزیابی قرار گرفت و بهره‌وری انرژی ۰/۳۰ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد [۲۰].

همچنین تحقیقاتی در رابطه با انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدکننده شیر در مرحله فرآوری اولیه انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به تحقیقی روی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های زیست محیطی ناشی از آن در مشهد اشاره کرد. این مطالعه به بررسی اهمیت مصرف انرژی در فرایند تولید نپرداخته و در این زمینه بحثی نداشته است [۵]. مطالعه و مقایسه‌ای در رابطه با انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شیر در سه کشور ایرلند، انگلستان و ایالات متحده آمریکا صورت گرفت که در آن دو نهاده سوخت دیزل و الکتریسیته بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند [۲۸]. تحقیقی در ۵۰ واحد تولیدی شیر در ایالات متحده آمریکا صورت گرفت. میانگین کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای یک لیتر شیر ۰/۲۰ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل گزارش شد [۳۵]. مطالعه‌ای در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدی شیر در کشور اکوادور صورت گرفت و کل گاز متان تولیدی از تخمیر روده‌ای به ازای یک رأس دام ۱۳۲۳ کربن دی‌اکسید معادل گزارش شد [۱۱]. شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای تولیدی شیر در استان تهران و گیلان مورد بررسی قرار گرفت که در این مطالعات، بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به نهاده خوراک دام و بعد از آن سوخت دیزل بود [۳۴]. همچنین مطالعات دیگری در زمینه انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش دام شیری صورت گرفته است [۷, ۸, ۹, ۱۷, ۳۳, ۳۹].

با توجه به اهمیت روز افزون منابع انرژی و نیز مدیریت بهینه آن در صنعت دامپروری، هدف از این مطالعه بررسی انرژی مصرفی و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و همچنین برآورد انتشار آلاینده‌ها در قالب گازهای گلخانه‌ای در واحد صنعتی تولید شیر در دانشگاه فردوسی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در یک واحد تولید کننده شیر واقع در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفته است. بررسی‌ها در سال ۱۳۹۲ انجام شد. مشخصات مربوط به این واحد تولیدی در جدول (۱) ارائه شده است. در این بررسی، انرژی‌های ورودی و خروجی مربوط به شیر تولیدی از ۱۴۷ رأس دام شیری مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوطه از طریق مصاحبه حضوری با مدیران واحد تولیدی جمع‌آوری شد.

جدول (۱) مشخصات و ویژگی‌های واحد صنعتی شیر دانشگاه فردوسی

عنوان	مشخصات
نژاد	هلستاین
تعداد کل دام (رأس)	۳۷۵
تعداد دام شیری	۱۴۷
تعداد دام خشک	۲۰
تعداد تلیسه	۸۰
تعداد گوساله	۲۵
تعداد دام نر	۱۰۳
دوره پرورش (روز)	۳۰۵ روز دوران شیردهی ۶۰ روز دوران خشکی
میانگین عملکرد محصول (کیلوگرم در روز)	۲۷/۲۱ (هر رأس دام)
میانگین جیره خوراکی (کیلوگرم ماده خشک در روز)	۳۹/۵ (دوران شیر دهی) ۲۲ (دوران خشکی)

نحوه بررسی انرژی‌های ورودی و خروجی

در این مطالعه، پنج نهاد انرژی شامل نیروی انسانی، خوراک دام، سوخت دیزل، الکتریسیته و ماشین‌ها و تجهیزات به عنوان نهاده‌های ورودی و مستقل و دو نهاد شیر تولیدی و کود حیوانی جزء نهاده‌های خروجی و وابسته در جدول در نظر گرفته شدند. معادل‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. شاخص‌های انرژی شامل کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده انرژی به ازای هر رأس دام از طریق فرمول‌های ۱ تا ۴ محاسبه شدند [۱۹]:

$$\text{انرژی خروجی (مگاژول بر واحد دامی)} = \frac{\text{کارایی انرژی}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر واحد دامی)}} \quad (۱)$$

$$\text{عملکرد (کیلوگرم بر واحد دامی)} = \frac{\text{بهره وری}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر واحد دامی)}} \quad (۲)$$

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر واحد دامی)}}{\text{عملکرد (کیلوگرم بر واحد دامی)}} \quad (۳)$$

$$\text{انرژی ورودی (مگاژول بر واحد دامی)} - \text{انرژی خروجی (مگاژول بر واحد دامی)} = \text{افزوده انرژی} \quad (۴)$$

جدول ۲) معادل‌های انرژی ورودی و خروجی در واحد تولیدی شیری

منبع	مگاژول / واحد	واحد	عنوان
			نهاده‌های ورودی
[19]	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
[19]	۹ - ۱۰	کیلوگرم	تراکتور و تجهیزات
[19]	۸ - ۱۰	کیلوگرم	تجهیزات ثابت
[19]	۶ - ۸	کیلوگرم	سایر ادوات و ماشینها
[19]	۶۴/۸	کیلوگرم	موتورالکتریکی
			سوخت های فسیلی:
[32]	۴۷/۸	لیتر	گازوئیل
[19]	۴۹/۵	مترمکعب	گاز طبیعی
[12]	۱۱/۹۳	کیلووات ساعت	الکتریسیته
		کیلوگرم	خوراک دام
[30]	۶/۳	کیلوگرم	کنسانتره
[40]	۲/۲	کیلوگرم	سیلو
[31]	۱/۵	کیلوگرم	یونجه
[30]	۱۲/۵	کیلوگرم	کاه گندم
[10]	۷/۱۴	لیتر	شیر
[12]	۰/۳	کیلوگرم	کود حیوانی

روش بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای

در این تحقیق، انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های سوخت، الکتریسیته، ماشین‌ها و تجهیزات در واحد تولیدی شیر مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب انتشار هریک از این نهاده‌ها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های مصرفی در تولید شیر

منبع	ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم کربن دی اکسید معادل/ واحد)	واحد	نهاده
[13]	۲/۷۶	لیتر	سوخت
[22]	۰/۶۰۸	کیلووات ساعت	الکتریسیته
[13]	۰/۰۷۱	مگاژول	ماشین‌ها و تجهیزات

نتایج و بحث

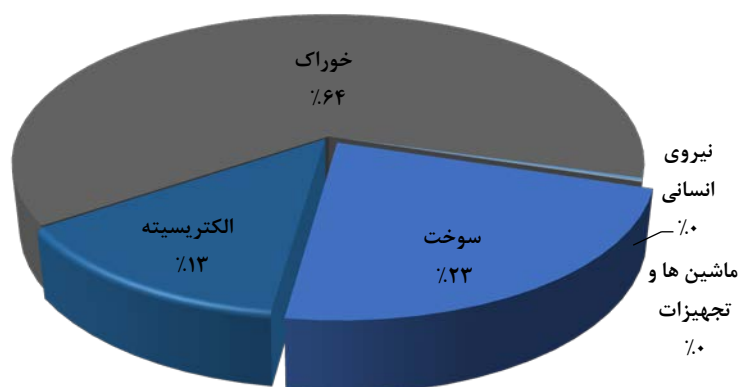
در جدول (۴) جریان انرژی‌های ورودی و خروجی در واحد تولیدی شیر واقع در دانشگاه فردوسی مشهد آورده شده است. بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به نهاده خوراک با سهمی حدود ۶۴ درصد بود، به نحوی که میزان انرژی مصرفی برای نهاده خوراک به ازای هر رأس و تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۴۱۶۷۰/۶۳ و ۵/۰۲ مگاژول بود. سوخت فسیلی با ۲۳ درصد، دومین منبع پرمصرف انرژی در تولید بود. میزان انرژی مصرفی نهاده سوخت به ازای هر رأس دام و تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۱۴۶۳۴/۳۹ و ۱/۷۶ مگاژول محاسبه شد. سومین منبع پرمصرف انرژی الکتریسیته بود. میزان انرژی آن به ازای هر رأس دام و تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۷۳۵۰/۸۳ و ۰/۸۸ مگاژول به‌دست آمد، به نحوی که سهم این نهاده حدود ۱۳ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید شیر را به خود اختصاص داد (شکل ۱). در تحقیقات مشابهی بر روی تولید شیر در واحدهای صنعتی دام‌شیری در استان تهران، دو نهاده انرژی خوراک دام و سوخت به عنوان بیش‌ترین نهاده‌های مصرف‌کننده انرژی شناخته شدند، به نحوی که هریک از این نهاده‌ها به ترتیب ۷۸ و ۱۵ درصد از مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. همچنین آنها الکتریسیته را به عنوان سومین نهاده پرمصرف گزارش نمودند [۳]. در ارزیابی کارایی انرژی در واحدهای دام‌شیری در شمال غرب کشور نیز نهاده خوراک دام با سهم بالای ۷۰ درصدی بیش‌ترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد [۲۳]. در ارزیابی انرژی مصرفی در تولید شیر در کشور هند، دو نهاده خوراک دام و نیروی

انسانی بالاترین سهم را داشتند. به دنبال آن دو نهاد سوخت و الکتریسیته در رتبه‌های بعدی از لحاظ میزان مصرف انرژی قرار گرفتند [۱۲]. در بررسی انرژی مصرفی در تولید شیر در کشور ایرلند بیش‌ترین نهاد مصرفی الکتریسیته بود [۳۷].

میزان انرژی مصرفی نیروی کارگری به ترتیب به ازای هر رأس دام و تولید یک لیتر شیر در واحد تولیدی دانشگاه به ترتیب ۱۷۳/۶۵ و ۰/۰۲ محاسبه شد. همچنین میزان انرژی مصرفی ماشین‌ها و تجهیزات نیز به ازای هر رأس دام و تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۱۴۰/۰۷ و ۰/۰۱ مگاژول بود. این دو نهاد کم‌ترین انرژی مصرفی را نسبت به سایر نهادها به خود اختصاص دادند به طوری که سهم هر کدام از آن‌ها کم‌تر از یک درصد بود.

جدول ۴) مقدار انرژی ورودی و خروجی در واحد پرورش دام شیری

نهادها	رأس دام / مگاژول	کیلوگرم شیر/مگاژول
نهادهای ورودی		
نیروی کارگری	۱۷۳/۶۵	۰/۰۲
ماشین‌ها و تجهیزات	۱۴۰/۰۷	۰/۰۴
سوخت‌های فسیلی:		
گازوئیل	۱۴۶۳۳/۵۲	۱/۷۶
گاز طبیعی	۰/۸۷	۰/۰۰۰۱
الکتریسیته	۷۳۵۰/۸۳	۰/۸۸
خوراک دام	۴۱۶۷۰/۶۳	۵/۰۲
نهادهای خروجی		
شیر	۵۹۲۵۷/۱۴	
کود حیوانی	۱۴۲۳/۵	



شکل ۱) جریان انرژی تولید یک لیتر شیر

طبق مطالعات صورت گرفته در کشورهای پیشرفته، بیشترین مصرف نهاده الکتریسیته مربوط به سیستم شیردوش و همچنین واحد شیرسردکن (آیس بانک) در واحدهای صنعتی تولید شیر می‌باشد. در این راستا، یکی از راهکارهای اساسی در جهت صرفه‌جویی انرژی الکتریسیته در واحدهای پرورش دام شیری در سیستم‌های شیردوشی استفاده از پمپ‌های خلاً با نرخ متغیر به جای پمپ‌های خلاً معمولی و سانتریفوژی است که استفاده از آن معمول است. به طوری که می‌توان میزان هزینه‌های الکتریسیته در این بخش را تا ۵۰ درصد تقلیل داد. همچنین در رابطه با کاهش و صرفه‌جویی انرژی مصرفی در واحد شیر سردکن، می‌توان به استفاده از سیستم‌های پیش‌خنک کننده شیر اشاره کرد که نقش یک مبدل حرارتی را ایفا می‌کند که قابلیت رساندن دمای شیر تا دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد را دارد و از آنجا شیر وارد قسمت سردکن می‌شود که قاعدتاً انرژی الکتریسیته کم‌تری جهت سردکردن شیر به مصرف می‌رسد [۳۷].

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، مجموع انرژی‌های ورودی به ازای یک رأس و یک لیتر شیر به ترتیب ۶۳۸۹۶/۳۰ و مگاژول ۷/۷۳ به‌دست آمد. در تحلیل انرژی مصرفی در واحدهای تولیدی در تهران مجموع انرژی‌های ورودی به ازای یک رأس ۵۳۱۰۱/۹۹ مگاژول گزارش شد [۳]. میانگین انرژی‌های ورودی به ازای یک لیتر شیر در واحدهای تولید شیر در شمال غرب ایران ۵/۸ مگاژول اعلام شد [23]. میانگین انرژی‌های ورودی به ازای یک رأس در کشور هند ۵۳۰۲۴/۲۵ مگاژول گزارش شد [۱۲]. میزان انرژی ورودی در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در مزارع لبنی در کشور استونی به ترتیب ۵/۴ و ۵/۳ مگاژول به ازای یک لیتر شیر اعلام شد [۱۵]. مقایسه نتایج بیانگر این موضوع است که میزان انرژی‌های ورودی در واحد تولیدی دانشگاه فردوسی نسبت به موارد ذکر شده به ازای یک لیتر شیر و یک رأس دام بیش‌تر بوده است که دلیل آن را می‌توان به مصرف نسبتاً بالای سوخت در این واحد تولیدی اشاره کرد. میزان نسبتاً زیادی از سوخت مصرفی به منظور گرم نمودن آب مورد نیاز برای شستشو لوله‌های شیردوشی و همچنین در استفاده از تراکتورهای فرسوده به منظور تهیه خوراک دام و تمیزکاری واحد تولیدی مورد مصرف قرار می‌گرفت. به عنوان یک پیشنهاد مقدماتی می‌توان از گرمای خروجی از شیر که در قسمت سردکن شیر قابل استخراج است، به منظور گرمایش آب جهت شستشو لوله‌های شیردوشی استفاده نمود [۳۷]. یکی دیگر از راه‌های کاهش الکتریسیته در واحد پرورش دام شیری، انجام عمل شیردوشی در زمان‌های غیر اوج مصرف برق می‌باشد چرا که بیش از ۶۰ درصد برق مورد نیاز در زمان‌های اوج مصرف می‌شود. تنظیم چنین سیستمی برای شیردوشی دامها در زمان غیر اوج مصرف نیاز به برنامه‌اصولی از جمله به مواردی مانند زمان جفت‌گیری، زمان زایمان، تعداد دفعات لازم جهت شیردوشی و... دارد [۳۶].

انرژی بیوگاز برای تامین الکتریسیته

میزان کل الکتریسیته مصرفی در واحد تولیدی دانشگاه فردوسی در یک دوره (۳۶۵ روز)، ۹۰۵۷۶ کیلووات ساعت به دست آمد. از طرفی، یکی دیگر از راهکارهایی که می‌توان به منظور صرفه‌جویی و جبران الکتریسیته در دامداری‌ها

پیشنهاد کرد، استفاده از انرژی بیوگاز در تامین برق مورد نیاز برای بخش‌های مختلف واحد تولیدی می‌باشد. بر این اساس، در جدول (۵) پتانسیل تولید بیوگاز از پسماند دامی و همچنین میزان برق تولیدی از آن در کشور ایران آورده شده است [۳۴]. در نتیجه، طبق این گزارشها و آمارها، میزان تولید انرژی الکتریسیته به ازای ۱۴۷ رأس دام شیری در یک دوره ۳۲۵۲ کیلووات ساعت محاسبه شد که در مجموع می‌توان حدود ۳۵ درصد الکتریسیته مورد نیاز برای دامهای شیری را از طریق انرژی بیوگاز استحصال از پسماند دام به دست آورد.

جدول ۵) پتانسیل تولید انرژی از پسماند دامی در ایران [۳۵]

شدت استحصال برق	پتانسیل تولید برق در سال	پتانسیل استحصال بیوگاز	تولید فضولات مرطوب	جمعیت در سال ۱۳۸۹
مگاوات ساعت برتن	مگاوات ساعت در سال	میلیون متر مکعب در سال	میلیون تن	هزار رأس دام
۰/۰۳۱	۸۴۹۴۰۰	۶۰۲/۸	۲۷/۴	۲۲۵۲

کارایی انرژی در واحد تولیدی شیر در دانشگاه فردوسی ۰/۹۴ به دست آمد که از کارایی انرژی در واحدهای استان تهران (۱/۵۴)، شمال غرب کشور (۲/۶) و کشور استونی (۱/۸۶) کم‌تر بود [۳، ۲۳، ۱۵]. اما از میانگین کارایی انرژی در واحدهای کوچک و بزرگ تولیدکننده شیر در کشور هند (۰/۰۹) بیش‌تر بود [۱۲]. از آنجایی که این مجموعه فاقد گاز شهری بود و میزان انرژی تولیدی به ازای هر لیتر سوخت دیزل بیش‌تر از گاز طبیعی است [۱]، سهم انرژی مصرفی نهاده سوخت دیزل برای واحد پرورش دام شیری در این واحد تولیدی نسبتاً زیاد به دست آمد.

بهره‌وری انرژی در این مطالعه ۰/۱۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. میزان بهره‌وری انرژی در واحدهای تولید شیر در استان تهران، شمال غرب ایران و آلمان به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۲۰ و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد [۳، ۲۳، ۲۹]. در نتیجه، میزان بهره‌وری انرژی در واحد مورد مطالعه نسبت به سایر واحدها کم‌تر به دست آمد.

سهم انرژی‌های مستقیم به ازای یک رأس و یک لیتر شیر در این تحقیق به ترتیب ۲۱۹۸۴/۳۵ و ۲/۶۴ و سهم انرژی‌های غیر مستقیم به ازای یک رأس و یک لیتر شیر به ترتیب ۴۱۹۸۴/۳۵ و ۵/۰۸ مگاژول به دست آمد. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ازای یک رأس و یک لیتر شیر ۴۱۸۴۴/۲۷ و ۵/۰۴ محاسبه شد. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر در تهران به ازای یک رأس به ترتیب ۴۱۹۵۴/۷۶ و ۱۱۱۴۷/۲۳ مگاژول اعلام شد [۳]. سهم انرژی‌های

غیرتجدیدپذیر به ازای یک رأس و یک لیتر شیر در واحد تولیدی دانشگاه فردوسی به ترتیب ۲۲۰۵۲/۰۲ و ۲/۷۰ مگاژول به دست آمد. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در این مطالعه نسبتاً زیاد بود که از دلایل آن مصرف بالای نهاده خوراک بود.

جدول ۶) شاخص‌ها و شکل‌های مختلف انرژی در تولید شیر به ازای هر رأس دام و یک لیتر شیر

مقدار	واحد	مقدار	واحد	شاخص‌ها و اشکال انرژی
۷/۷۳	مگاژول / لیتر	۶۳۸۹۶/۳۰	مگاژول / رأس دام	مجموع انرژی‌های ورودی
۷/۱۴	مگاژول / لیتر	۶۰۶۸۰/۶۴	مگاژول / رأس دام	مجموع انرژی‌های خروجی
۰/۹۲	-	۰/۹۴	-	کارایی انرژی
۰/۱۴	لیتر / مگاژول	۰/۱۴	کیلوگرم بر مگاژول	بهره‌وری انرژی
۷/۷۰	مگاژول / لیتر	۷/۱۴	مگاژول بر کیلوگرم	انرژی ویژه
-۰/۵۹	مگاژول / لیتر	-۳۲۱۵/۶۵	مگاژول / رأس دام	افزوده انرژی
۲/۶۴	مگاژول / لیتر	۲۱۹۸۴/۳۵	مگاژول / رأس دام	انرژی‌های مستقیم
۵/۰۸	مگاژول / لیتر	۴۱۹۸۴/۳۵	مگاژول / رأس دام	انرژی‌های غیرمستقیم
۵/۰۴	مگاژول / لیتر	۴۱۸۴۴/۲۷	مگاژول / رأس دام	انرژی‌های تجدیدپذیر
۲/۷۰	مگاژول / لیتر	۲۲۰۵۲/۰۲	مگاژول / رأس دام	انرژی‌های تجدیدناپذیر

روش بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای

سهم هریک از نهاده‌ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد تولیدی شیر واقع در دانشگاه فردوسی مشهد در جدول (۷) آورده شده است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از نهاده سوخت دیزل به ازای یک رأس و یک لیتر شیر به ترتیب ۸۴۴/۹۰ و ۰/۱۰ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل محاسبه شد. این نهاده با سهم ۶۵ درصد بیش‌ترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت، پس از آن، نهاده الکتریسیته با سهم ۳۴ درصد دومین نهاده از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بود. در مطالعه بر روی واحدهای تولیدی در استان تهران نیز نهاده سوخت دیزل دارای بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با سهم ۷۲ درصد گزارش شد و به دنبال آن نهاده الکتریسیته قرار داشت [۳]. در ۵۰ واحد تولیدی شیر در ایالات متحده آمریکا نهاده سوخت دیزل دارای با سهم حدود ۴۰ درصد بیش‌ترین انتشار گاز گلخانه‌ای را داشت و به دنبال آن، نهاده الکتریسیته با سهم حدود ۲۷ درصد بود [۳۵]. طی مطالعه‌ای در سه کشور ایرلند، انگلستان و ایالات متحده آمریکا دو نهاده الکتریسیته و سوخت دیزل بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص دادند به طوری که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای یک لیتر شیر برای این دو نهاده به ترتیب برابر ۰/۰۳ و ۰/۰۲ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل اعلام شد [۲۸]. در یک بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای در ۶۱ واحد شیری در کشور فنلاند، نهاده الکتریسیته به ازای یک رأس ۱۸۱/۷۹ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل، به عنوان بالاترین نهاده در انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش داشت [۲۴]. در

واحد تولیدی دانشگاه فردوسی مشهد، نهاده‌های ماشین‌ها و تجهیزات کم‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشتند (جدول ۷).

در این مطالعه، مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ازای یک رأس و یک لیتر شیر به ترتیب ۱۲۹۵/۷ و ۰/۱۴ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به دست آمد (جدول ۳). میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای یک لیتر شیر در واحدهای شیری در تهران ۰/۰۸ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل، میانگین کل انتشار در واحدهای تولیدی در سه کشور ایرلند، انگلستان، ایالات متحده آمریکا به ازای یک لیتر شیر تولیدی ۰/۱۰۵ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل و همچنین در واحدهای تولیدی کشورهای اکوادور و پرتغال به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۷۱ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل اعلام شد [۱۰، ۲۸، ۳۱].

در مطالعه‌ای دیگر در ۵۰ واحد شیری در ایالات متحده آمریکا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای یک لیتر شیر ۰/۲۰ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل گزارش شد [۳۵]. میانگین کل انتشار گاز گلخانه‌ای در مزارع لبنی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا به ازای یک لیتر شیر ۰/۴۵ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل اعلام شد [۳۸].

جدول ۷) انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد پرورش دام شیری

درصد (%)	میانگین کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک لیتر شیر تولیدی	میانگین کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به ازای یک رأس	نهاده‌ها
۱	۰/۰۰۱	۹/۴۴	ماشین‌ها و تجهیزات
۶۵	۰/۱۰	۸۴۴/۹۰	سوخت دیزل
۳۴	۰/۰۴	۴۴۰/۷۳	الکتریسیته
۱۰۰	۰/۱۴	۱۲۹۵/۰۷	مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- نهاده خوراک دام با سهم ۶۴ درصد بیش‌ترین نهاده انرژی ورودی بود که به منظور مدیریت بهتر آن می‌توان از برنامه جیرنویسی اصولی و کنترلی تغذیه دام استفاده کرد. بدین صورت که مواد تغذیه‌ای با کم‌ترین مصرف انرژی را جایگزین نهاده‌های پرمصرف انرژی کنیم، به طوری که افت عملکرد و کاهش بهره‌وری در خروجی این واحدها نداشته باشیم.
- در رابطه با مدیریت سوخت دیزل و نقش اساسی آنها در رابطه با مخاطرات زیست محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد مورد بررسی و سایر واحدهای تولید کننده می‌توان تجهیزات با مصرف سوخت

دیزل را جایگزین ماشین آلات با مصرف گاز طبیعی کرد، چرا که از طرفی مقدار انرژی کمتری در تولید گاز طبیعی صرف شده و از طرف دیگر آثار سوء زیست محیطی آن کمتر از سوخت‌های دیزلی است.

- نهاده انرژی الکتریسیته یکی از مهم‌ترین نهاده‌های مصرفی در سیستم شيردوشي و فرآوری اولیه شیر است. راهکارهایی با رویکرد بهینه‌سازی انرژی و صرفه‌جویی آن وجود دارد که از جمله این موارد می‌توان به استفاده از پمپ‌های خالاً با نرخ متغیر به جای پمپ‌های خالاً معمولی و سانتریفیوژی، بازیافت گرمای شیر در بخش سردکن جهت گرمایش آب به منظور شستشوی لوله‌های شیر، استفاده از بهترین دستگاه‌های شیرسردکن و مهم‌تر از همه پیش‌خنک‌کننده‌ها یا مبدل‌های حرارتی جهت کاهش دمای شیر به منظور صرفه‌جویی در الکتریسیته مصرفی و سایر موارد را می‌توان اشاره کرد.
- یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین پیشنهادها در جهت مدیریت انرژی الکتریسیته در واحدهای پرورش دام شیری، استحصال انرژی بیوگاز در تامین برق مورد نیاز است. در این مطالعه اشاره شد که می‌توان حدود ۳۵ درصد الکتریسیته مورد نیاز را از این طریق تامین کرد.

منابع

- [۱] الماسی، مرتضی. کیانی، شهرام. لویمی، نعیم. (۱۳۷۸)، مبانی مکانیزاسیون کشاورزی، چاپ چهارم، انتشارات جنگل.
- [۲] زارع، محمدرضا. ضیاء آبادی، مریم. (۱۳۸۹)، بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران. مجله توسعه و سرمایه، سال سوم، ۵: ۱۵۳-۱۳۳.
- [۳] سفیدپری، پریا. رفیعی، شاهین. اکرم، اسداله. (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.
- [۴] سلطانعلی، حمزه. عمادی، باقر. روحانی، عباس. خجسته پور، مهدی. (۱۳۹۳)، مدل‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای صنعتی پرورش دام شیری استان گیلان، مجله پژوهش در نشخوارکنندگان، شماره چهارم، جلد دوم.
- [۵] قربانی، محمد. دریجانی، علی. کوچکی، علیرضا. مطلبی، مرضیه. (۱۳۸۸)، برآورد هزینه‌های زیست محیطی انتشار گازهای گلخانه‌ای در دامداری‌های شیری مشهد، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هفدهم، ۶۶: ۶۳-۴۳.
- [6] Bakhoa H. Almassi M. and Moharamnejad N. 2012. "Energy production trend in Iran and its effect on sustainable development", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, PP. 1335- 133.
- [7] Beukes P.C. Gregorini P. Romera A.J. Levy G. and Waghorn G.C. 2012. "Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy

- farms in New Zealand”, Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol.136 No.3, PP.358-365.
- [8] Castanheira É.G. Dias A.C. Arroja L. and Amaro R. 2010. “The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm”, Agricultural Systems, Vol.103, No.7, PP. 498-507.
- [9] Christie K.M. Rawnsley R.P. and Eckard R.J. 2011. “A whole farm systems analysis of greenhouse gas emissions of 60 Tasmanian dairy farms”, Animal Feed Science and Technology, Vol. 166-167, PP.653-662.
- [10] Coley D. Emma G. A. and Macdiarmid j. 1998. “The embodied energy of food”, the role of diet Energy Policy, Vol. 26, PP. 455-459.
- [11] Cornejo C. and Wilkie A. C. 2010. “Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador”, Energy for Sustainable Development, Vol. 14, No.4, PP.256-266.
- [12] Divya P.I. Prabu M. Pandian A.S.S. Senthilkumar G. and Varathan B. J. 2012. “Energy use efficiency in dairy of Tamilnadu”, Indian Journal of Energy.
- [13] Dyer J.A. and Desjardins R.L. 2003b. “Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada”, Biosystems Engineering, Vol. 85, No.4, PP.503-513.
- [14] FAO. 2012. "Food and Agricultural commodities production, Available at www.fao.org.
- [15] Frorip J. Kokin E. Praks J. Poikalainen A.R.V. Veermäe I. Lepasalu L. and Schäfer H.M. 2012. “Energy consumption in animal production – case farm study”, Agronomy Research Biosystem Engineering.
- [16] Ghobadian B. 2012. “Liquid biofuels potential and outlook in Iran”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 7, PP. 4379-4384.
- [17] Hensen A. Groot T.T.W.C.M. Van den Bulk A.T. Vermeulen J. E. Olesen E. and Schelde K. 2006. “Dairy farm CH₄ and N₂O emissions, from one square meter to the full farm scale”, Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 112, No.2-3, PP. 146-152.
- [18] Hosseini S. E. Andwari A.M. Wahid M.A. and Bagheri A.G. 2013. “review on green energy potentials in Iran”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 27, PP.533-545.
- [19] Kitani O. 1999. Handbook of agricultural engineering. “Energy and biomass engineering”, ASAE Publications, St Joseph, MI.
- [20] Kraatz S. 2012. “Energy intensity in livestock operations – Modeling of dairy farming systems in Germany”, Agricultural Systems, Vol.110, PP.90-106.
- [21] Lal R. 2004a. ‘Soil carbon equestrian impacts on global climate change and food security’, Science, Vol. 204, PP.1623-1627.
- [22] Liang S. Xu M. and Zhang T. 2013. “Life cycle assessment of biodiesel production in China”, Bio resource Technology, Vol.129, PP.72-77.
- [23] Maysami M.J. Olbertz H. and Ellmer F. 2013. “Energy Efficiency in Dairy Cattle Farming and related Feed Production in Iran” Faculty of Agriculture and Horticulture at Humboldt-Universität zu Berlin.
- [24] Meul M. Nevens F. Reheul D. and Hofman G. 2007. “Energy use efficiency of specialized dairy, arable and pig farms in Flanders”, Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 119,

- No. 1-2, PP.135-144.
- [25] MOE. 2003. Energy balance in Iran. www.moe.gov.ir.
- [26] MOE. 2010. Energy balance in Iran. www.moe.gov.ir.
- [27] Najafi G. Ghobadian B. and Yusaf T.F. 2011. "Algae as a sustainable energy source for biofuel production in Iran: A case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No.8, PP.3870-3876.
- [28] O'Brien D. Capper J.L. Garnsworthy P.C. Grainger C. and Shalloo L. 2014. "A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms", *Journal of Dairy Science*.
- [29] Ozkan B. Kurklu A. and Akcaoz H. 2004. "An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 26, No.1, PP. 89-95.
- [30] Sainz R.D. 2003. Livestock-environment initiative fossil fuels component: framework for calculation fossil fuel use in livestock systems. <http://www.fao.org>.
- [31] Shortall O.K. and Barnes A.P. 2013. "Greenhouse gas emissions and the technical efficiency of dairy farmers", *Ecological Indicators*, Vol. 29, PP.478-488.
- [32] Singh S. and Mittal J.P. 1992. *Energy in production agriculture*. Mittal pub. New Delhi.
- [33] Soltanali H. Emadi B. Rohani A. Khojastehpour M. and Nikkhah A. 2015. "Life Cycle Assessment modeling of milk production in Iran", *Information processing in agriculture*, Vol.2. PP. 101-108.
- [34] The company optimize fuel consumption in Iran. 2009. National Iranian Oil Company. <http://ifco.ir/index.asp>.
- [35] Thoma G. Popp J. Nutter D. Shonnard D.R. Ulrich M. Matlock D.S. Kim Z. Neiderman N. Kemper C. and Adom F. 2013. "Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa", *International Dairy Journal*, Vol. 31 PP. 3-14.
- [36] Ubbels J. and Bouman S. 1979. "The saving of energy when cooling milk and heating water on farms", *International Journal of Refrigeration*, Vol.2, No.1, PP.11-1.
- [37] Upton J. Humphreys J. Groot Koerkamp P.W. French P. Dillon P. and DeBoer I.J. 2013. "Energy demand on dairy farms in Ireland", *American Dairy Science Association*, Vol. 96, No.10, PP. 6489-6498.
- [38] Weiss F. and Leip A. 2012. "Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 149, PP.124-134.
- [39] Wells D. 2001. Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study- Technical paper, Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington. ISBN: 0-478-07968-0; <http://www.maf.govt.nz>.
- [40] Yaldiz O. Zeren Y. and Bascetomcelik A. 1993. Energy usage in production of field crops in Turkey. Fifth int. cong. on mech. and energy use in agriculture.