

تعیین انرژی مصرف شده در تولید خوراک کنسانتره دامی (مطالعه در: شرکت نیرو سهند تبریز)

رحمت صحرایی علی‌وردی^۱، محمدعلی میسمی^{۱*} و حسین بهفر^۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۲

۱- گروه آموزشی مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

* مسئول مکاتبه: maysami@tabrizu.ac.ir

چکیده

در تحقیقات انجام شده در برآورد مصرف انرژی در تولیدات دامی، تعیین معادل انرژی خوراک دام از موارد مشکل و محل بروز اختلاف می‌باشد. تحقیق حاضر در راستای تعیین معادل انرژی خوراک کنسانتره دام با دیدگاه انرژی‌های اولیه انجام شد. برای این منظور کارخانه خوراک دام نیرو سهند تبریز انتخاب و داده‌برداری از آن انجام شد. انرژی‌های ورودی شامل الکتریسیته، گاز طبیعی، حمل و نقل، مواد اولیه و ماشین‌آلات بود. خروجی سامانه، خوراک تولیدی تحویل در درب کارخانه تعیین شد. کل انرژی ورودی به‌ازای هر کیلوگرم خوراک کنسانتره ۸/۴۸ مگاژول محاسبه شد. این عدد می‌تواند به‌عنوان هم‌ارز انرژی این نهاده در مطالعات بعدی مورد استفاده گیرد. مقدار انرژی موجود در خوراک کنسانتره ۱۷/۴۷ مگاژول بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بیشترین سهم مصرف انرژی در تولید خوراک، مربوط به- انرژی غیرمستقیم ورودی از نهاده مواد اولیه است. به‌نحوی که مقدار ۷/۶۷ مگاژول بر کیلوگرم معادل ۹۰/۴ درصد از کل انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. پس از نهاده مواد اولیه انرژی معادل حمل و نقل با ۰/۴۹۸ مگاژول بر کیلوگرم معادل ۵/۸۷ درصد از کل انرژی‌های ورودی بود. انرژی مصرف شده در داخل کارخانه برای فرآوری و آماده‌سازی خوراک ۰/۳۱۵ مگاژول بر کیلوگرم معادل ۳/۷ درصد از کل انرژی ورودی برآورد شد. در خط تولید کارخانه سه نهاده الکتریسیته، گاز طبیعی و ماشین‌آلات انرژی‌های ورودی را شامل می‌شدند. انرژی الکتریسیته در خط تولید با ۰/۱۹ مگاژول بر کیلوگرم، معادل ۶۰/۳ درصد از کل انرژی مصرف شده در کارخانه را به‌خود اختصاص داده بود.

واژه‌های کلیدی: خوراک کنسانتره دامی، شاخص‌های انرژی، کارخانه خوراک دام، هم‌ارز انرژی

۱- مقدمه

جمعیت کره زمین به شدت در حال افزایش است و پیش‌بینی گردیده تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۵ میلیارد نفر برسد (کراتز، ۲۰۱۲). این افزایش قابل توجه در جمعیت نیازمند تولید مقدار کافی غذا با کیفیت بالا است که آن‌هم نیازمند میزان قابل توجهی نهاده می‌باشد. برای مثال پیش‌بینی گردیده تقاضا برای محصولات لبنی در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ با افزایش ۸۰٪ مواجه گردد (استنفیلد و همکاران، ۲۰۰۶).

بخش کشاورزی و صنایع وابسته به آن به‌منظور تامین مواد غذایی جمعیت در حال رشد به‌شدت به‌منابع انرژی وابسته است. از دهه ۱۹۷۰ که بحران انرژی در دنیا اتفاق افتاد، پژوهش‌ها در زمینه مصرف انرژی آغاز شد، زیرا که انرژی عامل تعیین‌کننده‌ای در توسعه صنعتی و اقتصادی بوده و خواهد بود (حیدری و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش مداوم قیمت انرژی، افزایش نسبت انرژی سوخت‌های فسیلی به‌کل انرژی

ورودی در بخش کشاورزی و کاهش روزافزون منابع انرژی سوخت‌های فسیلی، لزوماً خواهان استفاده بهینه‌تری از این منابع در تولید محصولات مختلف است (سینگ و همکاران، ۱۹۹۹). در سال‌های اخیر نگاه ویژه‌ای به‌بخش دامپروری از نظر اهمیت مصرف انرژی وجود داشته است. توجه به‌منابع طبیعی محدود و اثرات سوء ناشی از استفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، لزوم بررسی الگوهای مصرف انرژی را در بخش دامپروری حیاتی ساخته است (هاتیرلی و همکاران، ۲۰۰۵).

صنعت خوراک دام و طیور به‌عنوان یکی از صنایع توسعه یافته در کشور سبب تحولی عظیم در فراهم کردن خوراک آماده برای دامداری‌ها و مرغداری‌های کشور شده است. با توسعه روزافزون صنعت دام و طیور در کشور و افزایش تقاضا برای گوشت سفید و قرمز و هم‌چنین لبنیات، واحدهای تولید خوراک دام و طیور به‌نسبت افزایش یافته‌اند. با توجه به اینکه گوشت سفید و قرمز و لبنیات در سبد خانوار جایگاه ویژه‌ای

گرفته شد. کراتز (۲۰۱۲) به مدل‌سازی انرژی مصرفی در واحدهای پرورش گاو شیری در کشور آلمان پرداخت. مزارع مورد مطالعه دارای چهار نوع جیره غذایی شامل علوفه سبز، ذرت، کنسانتره و علوفه خشک بود. انرژی معادل خوراک کنسانتره در مطالعه وی ۶/۷ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد. بیانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی جریان انرژی در واحدهای سنتی پرورش گاو شیری با تاکید بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید الکتریسیته و استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند دو نهاده خوراک دام و سوخت به ترتیب ۴/۴ و ۵/۲۸ درصد از کل انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داده‌اند. خوراک دام مصرف شده شامل کنسانتره، یونجه، کاه، گندم و ذرت سیلویی بود و به‌ازای هر کیلوگرم کنسانتره آماده ۶/۳ مگاژول محاسبه شد. با بررسی اعداد به‌کار رفته به‌عنوان معادل انرژی خوراک کنسانتره در مطالعات مذکور و سایر مطالعات مشابه در ایران و سایر کشورها، استفاده از معادل تقریبی ۶ مگاژول بر کیلوگرم به‌چشم می‌خورد که منشا مشترکی می‌تواند داشته باشد. در اشاره به‌این عدد جزئیات مربوط به آن شامل پایه انرژی مورد نظر، نوع کنسانتره، محل تولید، سهم نهاده‌های انرژی مستقیم و غیرمستقیم مورد اشاره قرار نگرفته است. در مطالعه میسمی (۲۰۱۴) بر روی گاوداری‌های شیری در شمال غرب ایران، تولید خوراک کنسانتره در داخل خود گاوداری‌ها دیده شد و مصارف انرژی برای تولید آن در کل انرژی‌های مصرفی گاوداری‌ها محاسبه گردید و بنابراین، معادل انرژی مستقل برای خوراک کنسانتره در نظر گرفته نشد.

عدم ارائه هم‌ارز انرژی برای خوراک کنسانتره تولیدی در کارخانجات خوراک دام در ایران لزوم بررسی بیشتر مصرف انرژی در این صنعت را مشخص می‌سازد که در مطالعه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف بررسی میزان مصرف انرژی در تولید خوراک کنسانتره دام انجام گردید. بدین‌منظور کارخانه خوراک دام و طیور نیرو سهند واقع در شهرستان تبریز استان آذربایجان شرقی در سال ۹۶-۱۳۹۵ مورد مطالعه قرار گرفت. این کارخانه در سال ۱۳۷۰ به‌عنوان اولین کارخانه مجهز و دارای مجوز استاندارد در سطح استان با ظرفیت تولید سالانه ۲۰۰ هزار تن انواع خوراک دام و طیور تاسیس گردید.

به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفت. یکی از این روش‌ها، جمع‌آوری اطلاعات به‌روش میدانی بود که با داده‌برداری به‌صورت روزانه و به‌مدت یک ماه در کارخانه انجام شد. با توجه به‌اینکه اصلی‌ترین انرژی مصرفی در خط تولید الکتریسیته بود اندازه‌گیری‌های مربوط به مصرف الکتریکی تعداد

دارند و مواد غذایی استراتژیک محسوب می‌شوند، صنایع مربوط به آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (درزی و همکاران، ۱۳۹۰) و مطالعه مصرف انرژی در آنها، از جمله تهیه خوراک کنسانتره، در افزایش بهره‌وری انرژی و رسیدن به توسعه پایدار کمک شایانی می‌تواند بکند. ایران با دارا بودن تعداد ۷۷۴ واحد کارخانه خوراک دام و طیور و با توان اسمی تولید سالیانه ۱۷ میلیون تن و توان بالقوه ۵ میلیون تن و سابقه ۶۰ ساله یکی از کشورهای پیشرو در زمینه تولید خوراک کنسانتره محسوب می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۵). بنابراین، بالا بردن راندمان اقتصادی و انرژی دستگاه‌های موجود در کارخانه‌های تولید خوراک کنسانتره دام و طیور، به‌عنوان کلید ماندگاری کارخانجات در رقابت صنایع پروتئینی کشور محسوب می‌گردد. به‌همین دلیل صنایع خوراک دام با استفاده از تکنولوژی روز و جایگزین نمودن دستگاه‌های فرسوده استفاده بهینه از انرژی‌های ورودی به کارخانه را باید مد نظر قرار دهند. استفاده از بقایای محصولات و فرآورده‌های کشاورزی که اهمیت غذایی در تغذیه دام و طیور دارند در ترکیب کنسانتره می‌تواند وابستگی به واردات علوفه و مواد تغذیه‌ای دام را کاهش داده و وضعیت نسبی در تولید انواع محصولات پروتئینی را تضمین نمایند. انجام این مطالعه و نتایج این تحقیق در مطالعات آینده می‌تواند به‌عنوان معادل انرژی خوراک دام مورد استفاده قرار گیرد.

تا به حال مطالعه مناسب در زمینه مصرف انرژی در تولید خوراک کنسانتره صورت نگرفته و در مطالعات در زمینه بهره‌وری انرژی در تولید فرآورده‌های دامی، یا از مقادیر اشاره شده در مطالعات خارجی استفاده گردیده است و یا از داده‌های مصرف انرژی دامپروری‌هایی که خود دارای تجهیزات تولید خوراک دام هستند به‌نحوی استفاده شده است. این درحالی است که مقادیر مطالعات خارجی نمی‌تواند معرف شرایط کشور ما باشد و اکثر دامداری‌ها نیز از خوراک دام فرآوری شده در کارخانجات داخل استفاده می‌کنند.

در بررسی جریان انرژی واحدهای پرورش گاو شیری و گوشتی و مقدار انرژی معادل خوراک کنسانتره در این واحدها مطالعات متعددی انجام شده است که در ادامه بدان‌ها اشاره خواهد شد. فروریپ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی انرژی مصرفی در تولید فرآورده‌های دامی به‌صورت مطالعه موردی در کشور استونی پرداختند. آن‌ها پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها دریافتند که برای تولید هر کیلوگرم خوراک کنسانتره استارتر گوساله و کنسانتره دام‌های بالغ ۵ مگاژول انرژی فسیلی مصرف شده است. یوزال (۲۰۱۳)، به‌مقیاسه بازده انرژی در محصولات تولیدی گاوداری‌های با سامانه‌های مختلف در منطقه قونیه در کشور ترکیه پرداخت. بر طبق مطالعه او، در میان نهاده‌های ورودی، خوراک کنسانتره و علوفه بیش از ۹۰٪ را به خود اختصاص می‌دادند. انرژی معادل خوراک کنسانتره در آن مطالعه ۶/۳ مگاژول بر کیلوگرم در نظر

تولید کارخانه بر اساس واحد تن در ساعت بود. سپس این عدد برای هر کیلوگرم خوراک گزارش گردید.

۲-۲- نحوه محاسبه شاخص های انرژی

شاخص های انرژی به عنوان ابزاری هستند که امکان مطالعه و مقایسه سامانه ها با یکدیگر را فراهم می کنند و اثرات بر محیط را از لحاظ بیلان انرژی مشخص می نمایند. دو شاخص مهم در مکانیزاسیون کشاورزی که در این مطالعه نیز استفاده شدند عبارتند از شدت یا تراکم انرژی و نسبت انرژی ورودی به خروجی که به ترتیب زیر تعریف می شوند:

شدت یا تراکم انرژی (EI^1): برابر است با مجموع انرژی های اولیه مصرف شده به ازای تولید هر واحد جرم (کیلوگرم) از خوراک کنسانتره (رابطه ۱).

$$EI = \frac{E_{in}}{M} \quad (1)$$

که در آن، E_{in} برابر انرژی ورودی بر حسب مگاژول بر ساعت و M کنسانتره تولیدی بر حسب کیلوگرم بر ساعت می باشد.

نسبت انرژی خروجی به ورودی (OIR^2): مطابق رابطه ۲ برابر است با انرژی نهفته در خوراک کنسانتره تولید شده (ارزش حرارتی بالا)، تقسیم بر مقدار انرژی ورودی در تولید آن (کیتانی، ۱۹۹۹).

$$OIR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (2)$$

که در آن، E_{out} انرژی نهفته در خوراک کنسانتره تولیدی (انرژی خروجی) و E_{in} انرژی معادل ورودی در تولید کنسانتره بر حسب مگاژول بر واحد جرم (کیلوگرم) می باشند.

در تولید خوراک کنسانتره، انرژی ورودی از مواد اولیه (مواد تغذیه-ای) و حمل و نقل مواد به درب کارخانه جزو انرژی های غیرمستقیم و انرژی ورودی از مصرف الکتریسیته و سوخت در داخل کارخانه، انرژی مستقیم دیده شد و مقدار هر کدام جداگانه مشخص گردید.

۲-۳- محاسبه انرژی ورودی و خروجی

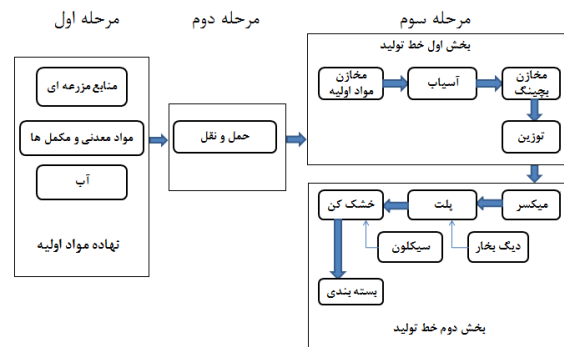
انرژی معادل نهاده های ورودی و انرژی معادل خوراک کنسانتره تولیدی از منابع مختلف استخراج و تعدادی از آنها در همین تحقیق محاسبه شدند. معادل انرژی نهاده هایی که در مطالعه حاضر در جریان تولید خوراک کنسانتره دام استفاده شدند در جدول ۱ نشان داده شده است.

زیاد دستگاه ها و الکتروموتورها در کلیه خطوط تولید برای حصول نتایج بهتر مکررا و با تکرارهای زیاد انجام گرفت. اندازه گیری مصرف الکتریکی به وسیله دستگاه کلمپ متر DT266 ساخت شرکت Digimeter که قادر به اندازه گیری مقاومت، جریان و ولتاژ می باشد، انجام گرفت. برای محاسبه انرژی گاز طبیعی، میزان مصرف گاز در عملیات به ازای یک ساعت بر حسب مترمکعب، در هم ارز انرژی گاز ضرب شد و همانند محاسبات انرژی الکتریکی، عدد به دست آمده بر مقدار جرمی محصول تولیدی در یک ساعت، تقسیم گردید تا انرژی گاز طبیعی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم محصول به دست آید.

برای اطمینان از صحت اطلاعات استخراج شده در دستگاه های خط تولید، با کارشناسان و پرسنل خط تولید مصاحبه و پرسش هایی مطرح گردید و دیدگاه ها و نظرات آنها مورد ارزیابی قرار گرفت و در پایان مقدار داده های مربوط به انرژی الکتریکی و گاز طبیعی مصرفی با قبض های صادر شده از اداره برق و گاز تطبیق داده شد.

۲-۱- بخش های مختلف فرآیند تولید

خوراک کنسانتره دام ترکیبی از مواد اولیه ای است که از مزارع و منابع مختلف (کارخانه ها و صنایع تبدیلی کشاورزی) به کارخانه خوراک دام



شکل ۱- طرح واره جریان انرژی در مراحل مختلف تولید خوراک کنسانتره دام

حمل می گردد. بنابراین، انرژی مصرف شده در تولید خوراک شامل سه بخش، تولید نهاده مواد اولیه، حمل و نقل مواد اولیه به کارخانه و انرژی مصرف شده در خط تولید کارخانه می باشد. انرژی مصرفی در خط تولید شامل انرژی الکتریکی، گاز طبیعی و انرژی معادل دستگاه ها و تجهیزات می باشد. شکل ۱ طرح واره ترتیب مراحل و فعالیت های تولید خوراک کنسانتره را نشان می دهد. مرز مورد مطالعه جریان انرژی از تولید مواد اولیه تا درب خروجی کارخانه در نظر گرفته شد (گهواره تا دروازه خروجی). انرژی ورودی از نهاده های مختلف اعم از مصرف حامل های انرژی و ماشین ها و نهاده های مربوط به اجزاء خوراک دام در کارخانه برای یک تن خوراک کنسانتره محاسبه شد. زیرا اندازه گیری میزان

¹ Energy Intensity

² Energy Output/Input Ratio

جدول ۱- ميزان انرژي نهاده‌هاي مصرف شده و خروجي در توليد

خوراک کنسانتره شيري		واحد	انرژي معادل	منبع
ستاده/ نهاده		(مگاژول بر واحد)		
انرژي‌هاي مستقيم				
الکتريسيته	kWh	۸/۴	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	
گاز طبيعي	m ³	۴۹/۵	(کيتاني، ۱۹۹۹)	
انرژي‌هاي غيرمستقيم				
حمل و نقل (جاده‌اي)				
	t/km	۱/۶	(هرنانز و اورتيز كاناوات، ۱۹۹۹)	
موتور الکتريکي	kg	۶۴/۸	(چوهان و همکاران، ۲۰۰۶)	
فولاد	kg	۳۲	(بيرد و همکاران، ۱۹۹۷)	
فولاد ضد زنگ	kg	۱۰۳	(گميس، ۲۰۰۶)	
ورق گالوانيزه	kg	۳۵	(بيرد و همکاران، ۱۹۹۷)	
جو	kg	۷/۸	(قاسمي مبنکر و همکاران، ۲۰۱۰)	
ذرت	kg	۹/۱۹	(ميسمي، ۲۰۱۴)	
سبوس گندم	kg	۳/۶۲	(ميسمي، ۲۰۱۴)	
سبوس برنج	kg	۳/۰۸	محاسبه شد	
ملاس چغندر	kg	۳/۱۲	(ميسمي، ۲۰۱۴)	
کنجاله سويلا	kg	۷/۹۶	(ميسمي، ۲۰۱۴)	
کنجاله کلزا	kg	۹/۲۵	(ميسمي، ۲۰۱۴)	
پودر ضايعات طيور	kg	۴	(کليک، ۲۰۰۳)	
دي کلسيم فسفات	kg	۱۰	(آلرويس و فرانسيس، ۲۰۰۳)	
نمک	kg	۱/۵۹	(ساينز، ۲۰۰۳)	
دانه چغندر	kg	۱۴/۷	(رسولي و همکاران، ۱۳۹۲)	
مکمل دامی	kg	۱/۵۹	(ساينز، ۲۰۰۳)	
تفاله چغندر	kg	۷/۲	(هاسيس فرگورالي، ۲۰۰۳)	
انرژي خروجي				
کنسانتره دام (گاوي)	kg	۱۷/۴۷	محاسبه شد	

برای محاسبه انرژي نهاده‌ها و ستانده‌ها از روابطي که در ادامه بدان‌ها اشاره می‌شود استفاده گردید:

الف) انرژي الکتريسيته مصرفي:

در کارخانه‌هاي توليد خوراک کنسانتره دام جهت راه‌اندازي دستگاه‌ها از انرژي الکتريسيته استفاده می‌شود. از رابطه ۳ برای محاسبه انرژي معادل الکتريسيته استفاده شد (دسور و کوه، ۱۳۸۴).

$$E_e = \frac{W \times E_i}{M} \quad (3)$$

که در آن:

E_e : انرژي الکتريکي مورد نیاز برای توليد یک کيلوگرم محصول (MJ/kg)

W : ميزان مصرف انرژي الکتريکي در یک ساعت (kWh)

E_i : هم‌ارز انرژي موجود به‌ازاي هر واحد توان (MJ/kWh)

M : ميزان توليد محصول در یک ساعت (kg)

ب) انرژي گاز طبيعي:

انرژي گاز طبيعي که در کارخانه در ديگ بخار مصرف می‌شود، از رابطه ۴ محاسبه شد (مسماري، ۱۳۹۰).

$$E_g = \frac{Q_i \times E_i}{M} \quad (4)$$

E_g : انرژي گاز طبيعي مصرفي به‌ازاي واحد جرم محصول (MJ/kg)

Q_i : مقدار گاز مصرف شده در یک ساعت (m³)

E_i : انرژي معادل هر واحد گاز (MJ/m³)

M : ميزان توليد محصول در یک ساعت (kg)

ج) انرژي معادل ماشين‌آلات:

برای محاسبه انرژي ورودی مربوط به‌استفاده از ماشين‌آلات موجود در کارخانه از رابطه ۵ استفاده شد (صفایی نيا و همکاران، ۱۳۹۱).

$$E_m = \frac{(W_m \times EC_m) + (W_{mach} \times EC_s)}{n \times t \times M} \quad (5)$$

E_m : انرژي ورودی ناشی از کاربرد تجهيزات و ماشين‌آلات به‌ازاي واحد

جرم محصول (MJ/kg)

W_m : جرم موتور الکتريکي (kg)

EC_m : هم‌ارز انرژي موتور الکتريکي (MJ/kg)

W_{mach} : جرم دستگاه (kg)

EC_s : هم‌ارز انرژي دستگاه (MJ/kg)

n : عمر مفيد ماشين (سال)

t : مدت زمان کارکرد ماشين (ساعت در سال)

M : ميزان توليد محصول در یک ساعت (kg/h) است.

جرم دستگاه‌ها و الکتروموتورها با استفاده از اطلاعات سازنده‌هاي داخلی استخراج شد (جدول ۲). جرم قسمت‌هايی هم‌چون مخازن و کانال‌ها که توسط نيروی متخصص خود کارخانه ساخته شده بود، به-

و) انرژی خروجی از خوراک کنسانتره تولیدی:

مقدار انرژی نهفته در پیوندهایی که مولکولها را به هم متصل می‌کند، به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست. حداکثر مقدار انرژی قابل استحصال از یک ماده در جریان یک فعل و انفعال شیمیایی (سوختن)، می‌تواند توسط کالری‌متر اندازه‌گیری شود. انرژی به‌دست آمده با کالری‌متر همان ارزش حرارتی بالا است که محتوای انرژی مواد خروجی را در سامانه‌های کشاورزی برای محاسبه شاخص نسبت انرژی خروجی به‌ورودی نشان می‌دهد. کالری‌متری که در مطالعه حاضر مورد استفاده برای تعیین ارزش حرارتی خوراک تولیدی قرار گرفت، بمب کالری‌متر اکسیژنی است که متداول‌ترین نوع می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- الف: دستگاه بمب کالری‌متر استفاده شده و جزئیات آن ب: تصویر کلی دستگاه کالری‌متر

۳- نتایج و بحث

نتایج مربوط به مصرف انرژی در تولید خوراک کنسانتره دامی در بخش مزرعه‌ای و کارخانه‌ای مطابق روش‌های بیان شده محاسبه گردید. جدول ۳ میزان مصرف نهاده‌ها، مقدار انرژی ورودی از آنها و سهم هر یک از آنها در کل مصرف انرژی را نشان می‌دهد. کل انرژی مصرف شده در تولید خوراک کنسانتره ۸۴۸۴ مگاژول بر تن محاسبه شد. این یعنی شدت انرژی تولید خوراک کنسانتره ۸/۵ مگاژول بر کیلوگرم است. این شدت انرژی شامل انرژی غیرمستقیم ورودی مواد اولیه، حمل و نقل و انرژی مصرف شده در داخل کارخانه می‌باشد و معادل انرژی مواد اولیه مربوط به‌اجزاء خوراک دام بر اساس منابع تهیه آن، اکثراً مربوط به‌داخل ایران است. خوراک کنسانتره تولید شده، بر اساس اندازه‌گیری با بمب کالری‌متر دارای ارزش حرارتی بالای ۱۷/۴۷ مگاژول بر کیلوگرم بود که به‌عنوان انرژی خروجی در نظر گرفته شد. بر اساس اطلاعات جدول ۳ برای تولید خوراک کنسانتره دام در کارخانه نیرو سهند، نهاده مواد اولیه با ۹۰/۴٪، مهمترین نهاده انرژی

کمک کارشناسان کارخانه تخمین زده شد. همچنین عمر مفید دستگاه‌ها ۱۲ سال در نظر گرفته شد (کراتز، ۲۰۱۲).

جدول ۲- جرم دستگاه‌های خط تولید کارخانه

ردیف	دستگاه	تعداد	جرم kg	جرم کل kg
۱	الکتروموتور	۳۷	*	۲۷۰۰
۲	ه‌ایر	۱	۵۰۰	۵۰۰
۳	آسیاب	۱	۲۲۰۰	۲۲۰۰
۴	باسکول	۱	۱۷۰۰	۱۷۰۰
۵	بالابر	۵	۷۰۰	۳۵۰۰
۶	میکسر	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰
۷	پلت	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰
۸	روتاری	۱۹	۲۵۰	۴۷۵۰
۹	خشک‌کن	۱	۱۲۰۰	۱۲۰۰
۱۰	کراملر	۱	۱۶۰۰	۱۶۰۰
۱۱	مخازن	۲۰	*	۱۲۰۰۰
۱۲	سیکلون	۱	۳۰۰	۳۰۰
۱۳	کیسه‌پرکن	۱	۱۲۰۰	۱۲۰۰

* دستگاه‌ها جرم‌های مختلفی داشتند.

د) انرژی معادل حمل و نقل:

هدف از بررسی انرژی معادل حمل و نقل این بود که مواد اولیه مصرفی در کارخانه با طی مسافت از شهرستان‌های داخل استان و یا از دیگر نقاط کشور می‌آمد. مسافت طی شده برای شهرهای استان به‌طور میانگین ۱۰۰ کیلومتر تخمین زده شد. در مواردی که از مواد اولیه از سایر شهرهای کشور می‌آمد مسافت آن شهر تا کارخانه تخمین زده شد. ضریب انرژی معادل حمل و نقل به‌صورت مقدار انرژی به‌ازای واحد جرم در واحد مسافت ($1/6 \text{ MJ/t.km}$) گزارش شده توسط کیتانی (۱۹۹۹) در نظر گرفته شد که در محاسبات به‌کیلوگرم تبدیل شد.

ه) انرژی معادل نهاده اولیه:

محصولات کشاورزی و مکمل‌ها دارای معادل انرژی متفاوتی هستند (جدول ۱). پس از محاسبه میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها در خوراک کنسانتره گاوهای شیری، مقدار مصرف در هم‌ارز انرژی آن (تراکم انرژی یک واحد آن) ضرب شد تا نتیجه حاصل سهم انرژی ورودی از هر یک از نهاده‌های غذایی در مخلوط خوراک را نشان دهد. تراکم انرژی نهاده‌های کشاورزی بر اساس گزارشات داده شده در سایر مطالعات برای تولید آن نهاده‌ها در ایران و تا حد ممکن برای مناطق نزدیک به‌تهیه مواد توسط کارخانه انتخاب گردید.

اشاره به محتوای انرژی متابولیسمی خوراک کنسانتره دارد. ارزش انرژی متابولیسمی^۱ و ارزش انرژی خالص لاکتیشن^۲ که در گزارش مشخصات خوراک کنسانتره توسط تولید کنندگان آورده می‌شوند در فنون جیره-نویسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالی است که معادل انرژی در تحلیل‌های انرژی باید کل انرژی مصرف شده در فرآیندهای تولید یک ماده و بر اساس ارزش حرارتی بالای انرژی‌های اولیه^۳ باشد.

علاوه بر عدد مذکور، اعداد دیگری نیز به‌عنوان معادل انرژی خوراک دام مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به‌پایه محاسباتی آنها چندان اشاره‌ای نشده است. به‌عنوان مثال می‌توان به ۱۳/۱۵ مگاژول بر کیلوگرم کنسانتره گزارش شده توسط بیانی و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد. چنین اعدادی نیز می‌توانند مربوط به ارزش حرارتی (بالا یا پایین) خوراک مربوط شود که باز در محاسبات انرژی مربوط به طرف نهاده‌ها در واحدهای دامداری نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شاخص‌های انرژی مورد اشاره در تولید خوراک کنسانتره در شرکت نیرو سهند تبریز در جدول ۴ خلاصه شده‌اند. نسبت انرژی خروجی به ورودی برای خوراک کنسانتره گاو شیری ۲/۰۶ به‌دست آمد. این نشان می‌دهد که از لحاظ بیلان انرژی علیرغم افزوده شدن انرژی حمل و نقل و فرآوری در کارخانه، هنوز محتوای انرژی محصول تولیدی بیش از انرژی صرف شده برای تولید آن است.

بر اساس جدول ۴ انرژی‌های مستقیم مصرف شده در داخل کارخانه ۰/۲۸۹ مگاژول بر کیلوگرم معادل ۳/۴٪ از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده‌اند در حالی که سهم انرژی‌های غیرمستقیم ۸/۱۹۵ مگاژول بر کیلوگرم معادل ۹۶/۶٪ بود. بنابراین، بر اساس این نتایج، برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش تراکم انرژی خوراک کنسانتره، مهمترین زمینه توجه به تولید مواد اولیه و کاهش مصرف انرژی در مزارع است.

انرژی مصرف شده در داخل کارخانه برای فرآوری و تولید مجموعاً ۳۱۵ مگاژول بر تن کنسانتره، معادل تنها ۳/۷ درصد از کل انرژی بود (جدول ۳). بنابراین، برای کاهش شدت انرژی در تولید خوراک کنسانتره، باید اهمیت بیشتر به‌فرآیند تولید محصولات کشاورزی در مزارع داده شده و سعی در افزایش بهره‌وری انرژی در مزرعه نمود. با این حال برای افزایش بهره‌وری انرژی در داخل کارخانه باید به‌این نقطه توجه کرد که انرژی الکتریسیته در خط تولید با ۰/۱۹ مگاژول در کیلوگرم و با ۶۰/۳ درصد بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده بود (شکل ۳). با اعمال روش‌های مدیریت صحیح در انتخاب الکتروموتورهای متناسب با موقعیت زمانی و مکانی در خط تولید و هم-

است. مقدار انرژی مواد اولیه به‌ازای یک تن خوراک کنسانتره شیری ۷۶۷۱ مگاژول به‌دست آمد. انرژی معادل حمل و نقل با ۵/۸۷ درصد و مقدار ۴۹۸ مگاژول انرژی به‌ازای یک تن خوراک کنسانتره دومین نهاده به‌لحاظ مصرف انرژی بود (شکل ۳).

جدول ۳- مقدار نهاده‌های ورودی و خروجی و انرژی معادل آنها در

نهاده / ستانده	مقدار	مقدار انرژی (MJ/t)	درصد از کل
تولید خوراک کنسانتره دام			
ورودی*			
الکتریسیته (kWh)	۲۲/۶	۱۹۰	۲/۲۴
گاز طبیعی (m ³)	۲	۹۹	۱/۱۶
ماشین‌آلات (kg/h)	-	۲۶	۰/۳
حمل و نقل (t.km)	۳۱۱/۲	۴۹۸	۵/۸۷
مواد اولیه (kg)	۱۰۰۰	۷۶۷۱	۹۰/۴
خروجی**			
خوراک کنسانتره دام (شیری kg)	۱۰۰۰	۱۷۴۷۰	-

* بر اساس معادل انرژی بر پایه انرژی‌های اولیه **محتوای انرژی بر اساس ارزش حرارتی بالا



شکل ۳- سهم انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید خوراک کنسانتره دام

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، اکثر مطالعاتی که در ایران و برخی کشورهای دیگر انجام گرفته‌اند انرژی معادل خوراک کنسانتره دام را ۶/۳ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته‌اند. بنابه نتیجه‌ای که حاصل شد، معادل انرژی خوراک کنسانتره ۸/۵ مگاژول بر کیلوگرم بدست می‌آید که همان شدت انرژی به‌دست آمده است. به‌نظر می‌آید، عدد ۶/۳ استفاده شده در مطالعات (ساینز، ۲۰۰۳، بیانی و همکاران، ۱۳۹۵)

¹- Metabolism Energy

²- Net Energy of Lactation

³- High Heating Value (HHV) of Primary Energies

گیرد. نتایج تحلیل انرژی نشان داد ۹۰/۴ درصد انرژی مصرفی مربوط به نهاده مواد اولیه بود و پس از آن ۵/۸۷ درصد از انرژی‌های مصرفی مربوط به حمل و نقل مواد اولیه از طریق حمل و نقل زمینی بود. بنابراین، هدف‌گذاری اصلی در کاهش مصرف انرژی در تولید خوراک دام باید افزایش بهره‌وری انرژی در مزارع باشد. با تامین مواد اولیه خوراک دام از نزدیک‌ترین منابع و با کاهش مسافت حمل و نقل نیز می‌توان در راستای کاهش مصرف انرژی حرکت کرد. اما در خط تولید کارخانه عطف به‌اینکه مهم‌ترین نهاده انرژی مربوط به مصرف الکتریسیته بود می‌توان با اعمال مدیریت صحیح دستگاه‌های الکتریکی بر بهره‌وری انرژی افزود.

تقدیر و تشکر

از مدیریت محترم شرکت نیرو سهند تبریز و همچنین پرسنل زحمتش آزمایشگاه و خط تولید کارخانه تقدیر و تشکر می‌گردد.

چنین استفاده از متعلقات جانبی برای الکتروموتورها در جهت مصرف بهینه برق و افزایش عمر و راندمان دستگاه‌ها، می‌توان قدری از مصرف انرژی الکتریسیته در خط تولید را کاست.

جدول ۴- شاخص‌ها و اشکال مختلف انرژی در تولید خوراک کنسانتره

گاو شیری	
شاخص‌ها / انواع انرژی	واحد
شدت انرژی	MJ/kg
محتوای انرژی خروجی	MJ/kg
نسبت انرژی خروجی به ورودی	-
انرژی مستقیم	MJ/kg
انرژی غیرمستقیم	MJ/kg
مقدار	
۸/۴۸	
۱۷/۴۷	
۲/۰۶	
۰/۲۸۹	
۸/۱۹۵	

۴- نتیجه‌گیری نهایی

براساس نتایج تحلیل انرژی، کل انرژی مورد نیاز برای یک کیلوگرم خوراک کنسانتره برابر ۸/۵ مگاژول به‌دست آمد که در مطالعات بعدی می‌تواند به‌عنوان معادل انرژی خوراک کنسانتره مورد استفاده قرار

منابع

- بیانی، ع.، ابوالحسنی، ل. و شاهنوشی فروشانی، ن. ۱۳۹۵. جریان انرژی در واحدهای سنتی پرورش گاو شیری با تأکید بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید الکتریسیته و استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۸، شماره ۲، صفحات ۲۶۲-۲۵۱.
- بی نام. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی. دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی.
- درزی، ف.، رنجبری، ا. و بهزادیان، م. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی تولید محصولات خوراک دان طیور با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) (مورد مطالعه شده: شرکت سورین شمال تولید کننده خوراک دان طیور). سومین همایش ملی تحلیل پوششی داده‌ها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه.
- دسور، چ. و کوه، ا. ۱۳۹۳. نظریه اساسی مدارها و شبکه‌ها. جلد اول. ترجمه پرویز جبه‌دار مارالانی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۴۰ صفحه.
- صفایی‌نیا، ع.، محمدزمانی، د. و شهرامی، ا. ارزیابی شاخص‌های انرژی در مرغداری‌های گوشتی استان قزوین با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. فصلنامه مهندسی زیست سامانه، جلد ۱، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۱.
- مسماری، آ.، بهرامی، ه.، الماسی، م. و شیخ داودی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی مصرف انرژی خط تولید چوب-پلاستیک مدل MD90 و ارائه راه‌کارهایی جهت بهبود مصرف انرژی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران.

Alrwis, K. N., and Francis, E. 2003. Technical efficiency of broiler farms in the central region of Saudi Arabia: Stochastic Frontier Approach. Research Bulletin 116 (1): 5-34.

Baird, G., Alcorn, A. and Haslam, P. 1997. The energy embodied in building materials up-dated New Zealand coefficients and their significance. Transactions of the Institution of Professional Engineers New Zealand (IPENZ): Civil Engineering Section. Vol. 24(1), 46.

Celik L, O. 2003. Effects of dietary supplemental l carnitine and ascorbic acid on performance, carcass composition and plasma l carnitine concentration of broiler chicks reared under different temperature. Arch. Anim Nutr. V (57): 27-38.

- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K. J. and Pandey, K. P. 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking-An application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management* 47: 1063-1085.
- Frorip, J., Kokin, E., Praks, J., Poikalainen, V., Ruus, A., Veermäe, I., Lepasalu, L., Schäfer, W., Mikkola, H. and Ahokas, J. 2012. Energy consumption in animal production-case study. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue.1*, pp.:39-48.
- GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems). 2006. Version 4.3. Öko-/Institut Freiburg i.Br. (Institut für angewandte Ökologie e.V.). <http://www.iinas.org/gemis-de.html>.
- Hacisferogullari H., Acaroglu M, and Gezer M. 2003. Determination of the energy balance of sugar beet plant. *Energy Source*. 25: 15-22.
- Hatirli, S. A., B. Ozkan, and Fert, K. 2005. An econometric analysis of energy input output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9: 608-623.
- Ghasemi Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, Sh. and Akram, A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 367-372.
- Heidari, M., Omid, M. and Akram, A. 2012. An investigation on energy consumption and the effects of number of chicks and ventilation system type on energy efficiency of broiler farms of Yazd Province. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 1(1), 33-39.
- Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M. and Ramdani, A. 1999. *Energy CIGR handbook of agricultural*.
- Kraatz, S. 2012. Energy intensity in livestock operations – Modelling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems* 110, pp. 90-106.
- Maysami, M.A. 2014. Energy efficiency in dairy cattle farming and related feed production in Iran (Doctoral dissertation, Humboldt Universität zu Berlin).
- Mohamadi, A. 2008. Efficiency measurement of the broilers producers by the use of data envelopment analysis (Case study: Fars Province). *Agricultural Economics and Development*, 16(63), 89-116.
- Ortiz-Canavate, J. and Hernanz, J. L. 1999. Energy for biological systems. *CIGR Handbook of agricultural engineering*, pub. ASAE, USA, Vol. 5, Energy and Biomass Engineering, ed. Kitani, O., pp. 13-24.
- Ozkan, B., Akcoaz, H. and Fert, C. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29(1), pp. 39-51.
- Rathke, G. W. and Diepenbrook, W. 2006. Energy balance of winter oilseed rape (Brassica Napusl) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *Journal of Agronomy* 24(1), pp. 35-44.
- Sainz, R.D. 2003. Livestock-environment initiative fossil fuels component: Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems. Home page address: www.fao.org.
- Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agricultural and Ecosystems Environment*, 137:367–372.
- Singh, S., Singh, S., Pannu, C.J.S. and Singh, J. 1999. Energy input and yield relations for wheat in different agro-climatic zones of the Punjab. *Applied Energy* 63: 287-298.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., and de Haan, C. 2006. *Live-stock's long shadow: environmental issues and options*. FAO publication, Rome.
- Uzal, S. 2013. Comparison of the Energy Efficiency of Dairy Production Farms Using Different Housing Systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Wiley Online Library

Determination of the Energy Intensity in Concentrate Feed Production for Livestock (in Niroo-Sahand Factory, Tabriz, Iran)

R. Sahraei Alivardi¹, M. A. Maysami^{1*} and H. Behfar¹

Received: 15 April 2019

Accepted: 13 July 2019

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

*Corresponding author: maysami@tabrizu.ac.ir

Abstract

For energy consumption analysis in animal husbandry, determination of energy equivalent for concentrate feed is a challenge and a point of difference between studies. This study was conducted for determination of the energy consumption in concentrate feed production. Data was collected from Niroo-Sahand feed factory in Tabriz (in Iran). The primary based energy inputs from electricity, fuels, transportation, machinery and feed materials were intended. The output was concentrate feed (CF) in factory gate in a cradle to gate boundary of the study. The total energy consumption was 8.48 MJ per kg of CF which could be used as its energy intensity in future studies. The energy content of CF was calculated to be 17.47 MJ per kg according to calorimeter experiment. Most of the energy input by 90% was belong to the indirect energy input from ingredient feed materials. Following, 5.8% of the energy input was from transportation of the feed materials from origins to factory. Inside the factory 0.315 MJ per kg of CF was consumed for processing consisted 3.7% of total energy input. Inside of the factory, 60.3% of the energy input was from electricity (primary energy based). To improve the energy intensity of CF, the field operations in feedstuff productions in origins should be considered.

Keywords: Concentrate cattle feed, Energy intensity, Energy equivalent, Feed factory