

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی کارایی انرژی در واحدهای پرورش گاو شیری با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها

عادل واحدی*

دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۵/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۷/۱۸

چکیده

انرژی به شکل‌های مختلف در صنعت پرورش گاو شیری استفاده می‌شود و در فرآیند تولید شیر به دلایل مختلف هدر می‌رود. دامداران با به‌کارگیری روش‌های مختلف تولید، در کارایی انرژی واحد تولیدی‌شان نقش اساسی دارند. این تحقیق در سال ۱۴۰۳ در استان تهران به انجام رسید و هدف آن تعیین شاخص‌های انرژی مصرفی، شناسایی واحدهای کارا و ناکارای پرورش گاو شیری به‌منظور بالابردن کارایی واحدهای تولیدی به حداکثر، و تعیین مقدار انرژی قابل ذخیره‌شدن حاصل از بهینه‌سازی مصرف انرژی بود. اطلاعات به روش پرسشنامه‌ای و مطالعات اسنادی و نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی از واحدهای مختلف گاوداری شیری جمع‌آوری و کلیه فعالیت‌ها یادداشت‌برداری شد. انرژی نهاده‌ها شامل نیروی کار، ماشین و تجهیزات، سوخت، الکتریسیته، جیره غذایی دام (یونجه، ذرت سیلویی، کنسنتره و کاه گندم)، ساختمان و تأسیسات و انرژی ستانده‌ها شامل شیر، گوشت و کود گاوی تولید شده محاسبه شد. شاخص‌های انرژی شامل افزوده خالص انرژی، کارایی انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی و شدت انرژی تعیین شد. با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها کارایی انرژی دامداری‌های گاو شیری مورد مطالعه تعیین و میزان بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای ناکارا و کل انرژی قابل صرفه‌جویی مشخص گردید. نتایج تحقیق نشان داد مقدار کل انرژی ورودی ۱۹۳۶۹۰/۷۵ مگاژول به‌ازای هر رأس دام است و بیشترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی را خوراک دام با ۷۶/۹۶ درصد دارد. در بین خوراک‌های عمده مصرفی گاو شیری، کنسنتره، یونجه، ذرت و کاه گندم به‌ترتیب ۳۲/۹۹، ۲۷/۶۸، ۱۳/۸ و ۲/۴۸ درصد از کل انرژی مصرفی داشتند. مقدار کل انرژی ستانده ۳۶۸۸۶/۴۸۲ مگاژول به‌ازای هر رأس دام به دست آمد که بیشترین سهم را شیر تولیدی با ۸۷/۰۲ درصد از کل انرژی ستانده داشت. کارایی مصرف انرژی، خالص انرژی، بهره‌وری انرژی و شدت انرژی به‌ترتیب ۰/۱۹، ۱۵۶۸۰۴/۲۷۲- مگاژول به‌ازای هر رأس دام، ۰/۰۸۶ کیلوگرم بر مگاژول و ۱۱/۶۳۶ مگاژول بر کیلوگرم تعیین گردید. میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای گاوداری‌های شیری استان تهران به‌ترتیب ۰/۸۹۲، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۵۸ محاسبه شد. میانگین انرژی هدف در گاوداری‌های شیری استان تهران ۱۲۹۷۶۴/۱۵ مگاژول به‌ازای هر رأس دام تعیین شد. یافته‌های تحقیق نشان داد با بهینه‌سازی مصرف انرژی در دامداری‌های ناکارای گاو شیری استان تهران به‌طور متوسط ۶۳۹۲۶/۵۳ مگاژول به‌ازای هر رأس دام می‌توان صرفه‌جویی انرژی داشت و کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی را به‌ترتیب به ۰/۲۸۴ و ۰/۱۲۸ کیلوگرم بر مگاژول ارتقا داد.

واژه‌های کلیدی

شاخص‌های انرژی، صرفه‌جویی انرژی، کارایی فنی خالص، کارایی مقیاس

مقدمه

شاخص‌های انرژی سیستم کشاورزی از نظر مصرف انرژی بهینه می‌گردد. سالانه انرژی زیادی در صنایع مختلف مصرف می‌شود. از جمله صنایع استفاده‌کننده انرژی، صنعت پرورش گاو شیری است.

در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف بررسی می‌شود و با محاسبه

ماشین‌آلات منتشر می‌شود، ۰/۶۲۲ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید یک لیتر شیر محاسبه شد. در بین نهاده‌های مورد بررسی، دو نهاده یکی ماشین‌ها و تجهیزات و دیگری سوخت به‌ترتیب با ۷۲/۳ و ۲۵/۷ درصد، بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید شیر داشتند. با توجه به یافته‌ها، جایگزین کردن نهاده‌های کم‌مصرف انرژی به جای نهاده‌های پرمصرف انرژی با نوشتن اصول جیره‌نویسی صحیح پیشنهاد می‌شود به‌طوری‌که افت عملکرد و کاهش بهره‌وری در خروجی واحدها مشاهده نشود. با توجه به اینکه ماشین‌آلات و سوخت بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند می‌توان با به‌کارگیری ماشین‌آلات با مصرف گاز طبیعی به‌جای ماشین‌آلات با سوخت دیزل از طرفی مقدار انرژی کمتری برای تولید یک لیتر شیر صرف کرد و از طرف دیگر آثار سوء زیست‌محیطی را به کمترین مقدار خود رساند (Bayani et al., 2016).

در مطالعه تعیین کارایی گاوداری‌های شیری در شهرستان سراب با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، میانگین کارایی فنی ۹۵ درصد، کارایی مقیاس ۵۵ درصد و کارایی زیست‌محیطی ۸۸ درصد به دست آمد. برای مقایسه آماری اختلاف بین متوسط کارایی فنی و زیست‌محیطی از آزمون کروسکال والیس استفاده شد که نتیجه آن معنی‌دار بودن اختلاف متوسط کارایی‌ها را تأیید می‌کند. با محاسبه ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن این نتیجه حاصل شد که گاوداری‌هایی با کارایی فنی بالاتر، آلاینده‌های کمتری تولید می‌کنند و کارایی زیست‌محیطی بالایی هم دارند. در نهایت تحصیلات، عملکرد شیر به‌ازای هر رأس گاو و سن از عوامل موثر بر کارایی زیست‌محیطی گاوداری‌ها شناخته شدند (Molaie & Sani, 2015).

انرژی به شکل‌های مختلف در صنعت پرورش گاو شیری استفاده می‌شود و در فرآیند تولید شیر به دلایل مختلف هدر می‌رود. دامداران با به‌کارگیری روش‌های مختلف تولید، در کارایی انرژی واحد تولیدی‌شان نقش اساسی دارند. جنبه‌های مبهم زیادی در مصرف انرژی به‌منظور تولید شیر وجود دارد. دلیل اصلی این مهم آن است که گاو شیری موجودی زنده و دامداری سیستمی پویاست. انرژی به روش‌های مختلفی تلف می‌شود. اما به‌درستی مشخص نیست که در کدام پارامتر مصرفی انرژی، اتلاف صورت گرفته است و میزان این اتلاف چقدر بوده است. نتایج این تحقیق منجر خواهد شد به امنیت غذایی و پایداری تولید شیر، حفظ منابع ارزی کشور در حکمرانی اقتصاد مقاومتی، کاهش اثرهای زیست‌محیطی پرورش گاو شیری و جلوگیری از تغییر اقلیم، مدیریت نهاده‌های تولید، و افزایش درآمد پرورش‌دهندگان گاو شیری کشور.

نتایج بررسی جریان انرژی و انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن در ۲۶ واحد پرورش سنتی گاوهای شیری در استان مازندران در سال ۱۳۹۳ نشان داد که مجموع انرژی‌های ورودی برای تولید یک لیتر شیر ۲۷/۷۴۵ مگاژول است. دو نهاده خوراک دام و سوخت به‌ترتیب با ۴۷/۴ و ۲۸/۵ درصد، پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی بودند. کارایی انرژی در مقایسه با بهترین حالت مصرف انرژی، که مقدار ارزشی آن عدد یک است و نشان‌دهنده شرایطی است که حداکثر بهره‌برداری از انرژی وارد شده به سیستم صورت می‌گیرد، ۰/۲۵۷ به دست آمد. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در تولید یک لیتر شیر به ترتیب ۴۸/۲ و ۵۱/۸ درصد محاسبه شد. مجموع گازهای گلخانه‌ای شامل N_2O ، CH_4 ، CO_2 که به دلیل تولید الکتریسیته و استفاده از

مصرفی مربوط به خوراک مصرفی دام با مقدار ۴۳۶۱۲ مگاژول برای هر رأس دام بود.

واحدی و یونسسی‌الموتی (Vahedi & Younesi, 2016) Alamooti, 2016) روند مصرف انرژی در واحدهای پرورش مرغ گوشتی استان البرز را بررسی نمودند. نهاده‌های اصلی ورودی شامل خوراک مصرفی، سوخت (گاز و گازوئیل)، الکتریسیته، نیروی انسانی، ماشین‌ها و جوجه یک روزه گوشتی و ستانده‌ها (نهاده‌های خروجی) شامل گوشت مرغ و فضولات بستر بود. کل انرژی‌های ورودی و خروجی برای هزار قطعه مرغ به‌ترتیب ۱۲۵/۲ و ۲۴/۹ گیگاژول به دست آمد. شاخص‌های انرژی شامل کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه به‌ترتیب ۰/۱۹، ۰/۲ و ۰/۱۹ کیلوگرم بر مگاژول و ۵۲/۵۵ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمده است. سوخت مصرفی (گاز و گازوئیل) با ۵۰/۸۴ درصد و خوراک مصرفی با ۴۲/۴۳ درصد بیشترین سهم و جوجه یک روزه با ۰/۳۹ درصد و نیروی انسانی با ۰/۰۶ درصد کمترین سهم را در بین نهاده‌های ورودی داشته‌اند. سهم انرژی مستقیم ۵۷/۰۳ و سهم انرژی تجدیدناپذیر ۹۹/۹۳ درصد از کل انرژی مصرفی تعیین شده است.

بررسی سوابق مطالعات نشان می‌دهد به‌رغم توسعه صنعت پرورش گاوشیری در کشور و افزایش جمعیت گله‌های گاوشیری و توسعه و مصرف روزافزون فرآورده‌های شیری در سال‌های اخیر، پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص بررسی جریان انرژی در واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری محدود و پراکنده بوده است و تحقیقی به‌صورت جامع دیده نمی‌شود. از این‌رو این تحقیق به‌صورت جامع روند مصرف انرژی را در پرورش گاو شیری نژاد هلشتاین در استان تهران بررسی و پس از

در گاوداری‌های شیری آلمان تحقیقات نشان داد که خوراک دام و جیره غذایی بخش عمده انرژی نهاده را در گاوداری‌های شیری تشکیل می‌دهند. افزایش استفاده از کنستانت‌تره در جیره غذایی باعث افزایش انرژی نهاده شد. همچنین بهره‌وری انرژی بین ۳ تا ۳/۶ مگاژول بر کیلوگرم تولید شیر به دست آمد (Kraatz, 2012). بررسی واحدهای پرورش گاو شیری در بلژیک در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد گازوئیل مصرفی سهم بیشتری در انرژی ورودی دارد (Meul et al., 2007). در بررسی انرژی گاوداری‌های شیری استونی در دو سال پیاپی، نسبت انرژی در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به‌ترتیب ۱/۸۸ و ۱/۸۵ و انرژی ویژه به‌ترتیب ۵/۴ و ۵/۳ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد. در این بررسی‌ها جیره غذایی بیشترین انرژی نهاده را تشکیل می‌داد (۶۷ تا ۷۱ درصد) (Frorip et al., 2012).

کارایی فنی دامداری‌های شیری استان بوردو ترکیه با استفاده از آنالیز فراگیر داده‌ها نشان داد که کارایی فنی بین ۲۸/۶ و ۱۰۰ درصد است و میزان متوسط آن برابر ۶۴/۲ به دست آمده است و نهاده‌های خوراک و نیروی کار به‌صورت غیر کارا استفاده می‌شدند. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین اندازه گله و کارایی وجود داشت و دامداری‌های با مقیاس بزرگ‌تر سود اقتصادی بیشتری داشتند (Demircan et al., 2010).

نبی‌پور افروز و همکاران (Nabipour Afroz et al., 2016) با بررسی سیر مصرف انرژی در گاوداری‌های شیری استان اصفهان گزارش دادند که میزان انرژی کل ورودی به‌ازای هر دام ۵۶۵۶۳ مگاژول، انرژی خروجی ۵۸۲۷۷ مگاژول و در نتیجه نسبت انرژی ۱/۰۲۸ است. بیشترین مقدار انرژی

تهران استفاده شد. انرژی نهاده‌ها شامل نیروی انسانی، سوخت دیزل، بنزین، گاز طبیعی، ماشین و تجهیزات، الکتریسیته، جیره غذایی دام (یونجه، ذرت سیلویی، کنسانتره و کاه گندم) و ساختمان و تأسیسات و انرژی خروجی نیز شامل شیر، گوشت گاو حذفی، گوشت گوساله، گوشت تلیسه مازاد و کود گاوی تولیدی است.

استان تهران بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است (شکل ۱).

تعداد واحدهای دام شیری فعال در استان تهران ۲۴۹۲ است. این استان دارای ۴۲۰ هزار رأس دام سنگین است و ۲۰۳ هزار رأس دام اصیل کشور (معادل ۱۸ درصد دام‌های اصیل کشور) در این استان وجود دارد که رتبه اول کشور را در این زمینه به خود اختصاص داده است. در سال ۱۴۰۰، ۳۱۴۹۰ تن گوشت قرمز و ۱۲۰۰۰۰۰ تن شیر خام در استان تهران تولید شد که در تولید شیر خام این استان رتبه دوم کشور را داشته است.

ارزیابی کارایی گاو‌داری‌ها به ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و انرژی واحدهای ناکارای پرورش گاو هلشتاین در استان تهران می‌پردازد. در بخش ستانده‌ها علاوه بر شیر تولیدی، سایر محصولات جانبی نیز مطالعه شده است. با توجه به انرژی‌بر بودن این صنعت، و تأمین بخش عمده‌ای از خوراک گاو شیری از طریق واردات که سبب خروج ارز از کشور می‌شود ضرورت پرداختن به این پژوهش وجود دارد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۳ اجرا شد و هدف از آن بررسی وضعیت انرژی مصرفی و کارایی واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری و ارائه راهکارهایی برای بهبود وضعیت موجود بود. در این تحقیق ۳۰ واحد پرورش گاو شیری صنعتی (واحد تصمیم‌گیری) از نژاد هلشتاین، ۱۱ نهاده مصرفی و ۵ ستانده بررسی شدند. نمونه‌گیری بر اساس ظرفیت واحدهای پرورشی و پراکنش جغرافیایی در سطح استان به صورت کاملاً تصادفی سیستماتیک بود. برای تعیین حجم نمونه از رابطه کوکران با توجه به تعداد کل واحدهای صنعتی پرورش گاو هلشتاین در استان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان تهران

Fig. 1- Geographical location of Tehran province

Agricultural Mechanization & Systems Research

25(92), 2024

E_m = انرژی ماشین (مگاژول بر رأس دام)؛ E_{Im} = هم‌ارز انرژی هر واحد از وزن ماشین (مگاژول بر کیلوگرم)؛ N = عمر اقتصادی ماشین (ساعت)؛ W = وزن ماشین (کیلوگرم)؛ T = ساعات استفاده از ماشین در هر دوره پرورش به‌ازای هر رأس گاو (ساعت بر رأس دام).

انرژی الکتریسیته برای تأمین آب از چاه آبیاری از رابطه ۳ محاسبه شد (Tipi et al., 2009).

$$DE = \gamma g H Q, \varepsilon, q \quad (3)$$

که در آن،

DE = انرژی الکتریسیته (گیگاژول بر هکتار)؛ γ = چگالی آب (میزان آن برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)؛ g = نیروی جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه)؛ H = میانگین عمق پمپاژ آب؛ Q = نیاز ویژه آبی گیاه (مترمکعب در هکتار)؛ ε, q = بازدهی کل تبدیل انرژی آبیاری (مقدار آن ۰/۱۸ تا ۰/۲ برای چاه‌های برقی).

شاخص‌های انرژی مهم در ارزیابی و آنالیز مصرف انرژی در بخش کشاورزی شامل کارایی انرژی مصرفی^۱ یا نسبت انرژی^۲، افزوده خالص انرژی^۳، بهره‌دهی انرژی^۴ و شدت انرژی^۵ از رابطه‌های ۴ تا ۷ محاسبه شد (Vahedi & Younesi Alamooti, 2016).

$$EUE = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (4)$$

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad (5)$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad (6)$$

$$SE = \frac{E_{in}}{Y} \quad (7)$$

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق از طریق مصاحبه حضوری با مدیران واحدهای پرورش و کارشناسان و مطالعات اسنادی به دست آمد. جامعه آماری این تحقیق تمام واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری از نژاد هلشتاین در استان تهران بود و برای به دست آوردن حجم نمونه از رابطه ۱ استفاده شد (Cochran, 1997):

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (1)$$

که در آن،

n = حجم نمونه (تعداد گاوداری‌های مورد مطالعه)؛ N = اندازه جامعه آماری؛ t = ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید؛ S = برآورد انحراف معیار صفت مورد مطالعه؛ d = دقت احتمالی مطلوب.

برای محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی در یک سیستم تولیدی می‌توان مقدار هر یک از نهاده‌های مصرفی یا محصول تولیدی را در هم‌ارز انرژی (شدت یا معادل انرژی) آن ضرب کرد. مقادیر هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی و محصولات تولید شده با توجه به مطالعات گذشته در داخل و خارج از کشور در جدول ۱ آورده شده‌اند.

با استفاده از رابطه ۲ مقدار انرژی مصرفی ماشین را می‌توان به دست آورد.

$$E_m = \frac{EI_m \cdot W \cdot T}{N} \quad (2)$$

که در آن،

1- Energy Use Efficiency (EUE)

2- Energy Ratio (ER)

3- Net Energy Gain (NEG)

4- Energy Productivity (EP)

5- Specific Energy (SE)

که در آن‌ها،
 EUE = نسبت یا کارایی مصرف انرژی؛ NEG ورودی (مگاژول بر رأس دام)؛ E_{out} = انرژی
 انرژی خالص تولید شده (مگاژول بر رأس دام)؛ EP خروجی (مگاژول بر رأس دام)؛ و Y = عملکرد تولید
 بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)؛ SE = انرژی (کیلوگرم بر رأس دام).

جدول ۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده‌ها در پرورش گاو شیری
 Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs in dairy cow farms

منبع *	واحد	هم‌ارز انرژی	نهاده‌ها/ستانده‌ها
Reference*	Unit	Energy equivalent	Inputs/Outputs
انرژی داده (ورودی)			
Ozkan et al., 2004; Yilmaz et al., 2005	ساعت (hr)	۱/۹۶	- نیروی انسانی
Kitani, 1999	کیلوگرم (kg)	۱۳۸	- تراکتور
Kitani, 1999	کیلوگرم (kg)	۱۲۹	- سمپاش
Chauhan et al., 2006	کیلوگرم (kg)	۶۲/۷	- فولاد
Chauhan et al., 2006	کیلوگرم (kg)	۶۴/۸	- موتور الکتریکی
Kittle, 1993	کیلوگرم (kg)	۴۶/۳	- پلی اتیلن
Kitani, 1999	کیلوگرم (kg)	۶۲/۷	- سایر تجهیزات
Erdal et al., 2007	لیتر (L)	۵۶/۳	- سوخت دیزل
Kitani, 1999	لیتر (L)	۴۶/۳	- بنزین
Akcaoz, et al., 2004	کیلو وات ساعت (kWh)	۱۱/۹۳	- برق
Gaillard et al., 1997	مترمربع در سال (m ² . year)	۱۵۳	- ساختمان و تأسیسات
Tsatsarelis & Koundouras, 1994	کیلوگرم (kg)	۱۵/۸	- یونجه
Pishgar et al., 2011	کیلوگرم (kg)	۸	- ذرت علوفه‌ای
Kitani, 1999	کیلوگرم (kg)	۱۴	- جو
Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۰/۳۲	- سبوس
Heidari et al., 2011	کیلوگرم (kg)	۱۲/۰۶	- کنجاله سویا
Frorip et al., 2012; Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۰/۳۸	- نمک و ویتامین‌ها
Tabatabaeefar et al. 2009	کیلوگرم (kg)	۹/۲۵	- کاه
انرژی ستاده (خروجی)			
Frorip et al., 2012; Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۷/۱۴	- شیر
Frorip et al., 2012; Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۹/۲۲	- گوشت گاو
Frorip et al., 2012; Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۶/۵	- گوشت گوساله
Frorip et al., 2012; Sainz, 2003	کیلوگرم (kg)	۶/۵	- تلیسه مازاد
Ghasemi Mobtaker et al., 2010	کیلوگرم (kg)	۰/۳	- کود دامی

Appendix *

* پیوست

تحلیل پوششی داده‌ها^۱
 کارایی نسبت ستاده به نهاده تعریف می‌شود. تابع مرزی نیست و واحدها نسبت به یکدیگر مقایسه می‌شوند و مرزها را نیز واحدهای فعال تر (کارا) ایجاد می‌کنند بنابراین میزان کارایی آنها برابر با یک
 محاسبه میزان کارایی یا به صورت پارامتریک (ایجاد توابع تولید) یا به روش غیرپارامتریک (برنامه‌ریزی خطی) است. در روش غیرپارامتریک نیازی به ایجاد

1- Data Envelopment Analysis (DEA)

تصمیم‌گیری^۸ بهترین عملکرد در تولید را دارند و بدون کاهش در پتانسیل می‌توان به تولید ادامه داد، هر مقدار کارایی فنی کمتر از یک نشان می‌دهد واحد تصمیم‌گیرنده دارای نهاده‌های ورودی ناکارآمد هست (Mousavi-Avval et al., 2011).

با استفاده از نمادهای استاندارد، کارایی فنی را می‌توان به صورت ریاضی با رابطه ۹ بیان کرد:

$$TE_j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_n y_{nj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} = \frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{s=1}^m v_s x_{sj}} \quad (9)$$

که در آن،

TE_j = کارایی واحد تصمیم‌گیری j ام؛ u_r = وزن خروجی j ام؛ Y_r = مقدار خروجی j ام؛ v_s = وزن ورودی j ام؛ x_s = مقدار نهاده ورودی j ام؛ r = تعداد خروجی‌ها ($r=1, 2, \dots, n$)؛ s = تعداد نهاده‌های ورودی ($s=1, 2, \dots, m$)؛ $j = 1, 2, \dots, n$ ؛ z = آزمون واحدهای تصمیم‌گیری. برای حل رابطه ۲، برنامه‌ریزی خطی^۹ استفاده گردید که در رابطه‌های ۱۰ تا ۱۳ بیان شده است (Charnes et al., 1978).

$$\theta = \sum_{r=1}^n u_r y_{rj0} \quad \text{حداکثر} \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^n u_r y_{rj} - \sum_{s=1}^m v_s x_{sj} \leq 0 \quad \text{به شرط} \quad (11)$$

$$\sum_{s=1}^m v_s x_{sj0} = 1 \quad (12)$$

$$u_r \geq 0 \text{ و } v_s \geq 0, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (13)$$

خواهد بود و این مقدار در واحدهای ناکارا کمتر از یک است. روش تحلیل پوششی داده‌ها از مهم‌ترین روش‌های غیرپارامتریک در تعیین تابع تولید و سنجش کارایی است و میزان کارایی را در مدل‌های بازده ثابت به مقیاس^۱، (مدل CCR^2) و بازده متغیر به مقیاس^۳، (مدل BCC^4) و با دو رویکرد ستاده محور و نهاده محور تعیین می‌کند. در نوع ستاده محور با فرض ثابت بودن نهاده‌ها سعی در افزایش میزان محصول می‌شود ولی در نوع نهاده محور با فرض مشخص بودن میزان تولید سعی در کاهش میزان نهاده‌ها می‌شود.

میزان کارایی به دست آمده در روش CCR کارایی فنی^۵ و میزان کارایی به دست آمده در روش BCC کارایی فنی خالص^۶ نامیده می‌شوند و میزان کارایی مقیاس^۷ از رابطه ۸ به دست می‌آید (Ghasiri et al., 2007):

$$SE = \frac{TE}{PTE} \quad (8)$$

که در آن،

SE = کارایی مقیاس؛ TE = کارایی فنی؛ و PTE = کارایی فنی خالص.

این رابطه مشخص می‌کند ناکارایی به دلیل ناکارایی مدیریتی است یا ناشی از شرایطی است که کارایی مقیاس را نشان می‌دهد و یا هر دو عامل موثر هستند.

کارایی فنی (TE) را می‌توان به طور کلی نسبت مجموع وزنی خروجی‌های به مجموع وزنی ورودی‌ها بیان کرد. مقدار عددی کارایی فنی بین صفر و یک است. عدد یک حاکی از آن است که واحدهای

1- Constant return to scale

3- Variable Return to Scale

5- Technical Efficiency (TE)

7- Scale Efficiency (SE)

9- Linear programming (LP)

2- Charns, Cooper and Rhodes

4- Banker, Charns and Cooper

6- Pure Technical Efficiency (PTE)

8- Decision making Unit (DMU)

که در آن‌ها،

z = مقدار عددی؛ u_0 = متغیر آزاد در علامت؛ U و

V = خروجی و ورودی‌های ماتریس وزن؛ X و Y به ترتیب مربوط به ماتریس‌های خروجی و ورودی است؛ و x_i و y_i اشاره به ورودی و خروجی‌های i ام واحد تصمیم‌گیری دارد.

بازده به مقیاس

بازده به مقیاس نشان‌دهنده تأثیر اندازه واحدهای تصمیم‌گیری بر بهره‌وری سیستم است. به سادگی، این مؤلفه نشان می‌دهد که برخی از بخشی‌های ناکارآمد، به اندازه نامناسب واحد تصمیم‌گیری ارتباط دارد و اگر هر واحد تصمیم‌گیری به سمت بهترین اندازه حرکت کند، بازده کلی (کارایی فنی) را می‌تواند در همان اندازه از سطح فناوری (ورودی) بهبود دهد (Nassiri & Singh, 2009). اگر یک واحدهای تصمیم‌گیری به طور کامل در هر یک از کارایی فنی و کارایی فنی خالص دارای نمره کارآمد باشد، پس آن واحد تصمیم‌گیری در اندازه مقیاس مولدترین عامل است. اگر یک واحد تصمیم‌گیری نمره بازده فنی خالص بالا اما نمره بازده فنی پایینی داشته باشد، آن واحد در سطح محلی کارآمد اما با توجه به اندازه مقیاس آن، در سطح جهانی کارآمد نیست. بنابراین، معقول و منطقی است که توصیف بازده به مقیاس یک واحد تصمیم‌گیری با توجه به

θ = کارایی فنی؛ و z = زامین واحد تصمیم‌گیری. الگوی فوق یک الگوی برنامه‌ریزی خطی و معروف است به الگوی CCR در تحلیل پوششی داده‌ها که فرض بر این است بین بازده به مقیاس و کارایی رابطه معنی‌داری وجود ندارد (Avkiran, 2001). بنابراین، تولیدکنندگان بزرگ به همان اندازه تولیدکننده‌های کوچک در تبدیل ورودی به خروجی مؤثر و کارآ خواهند بود.

کارایی فنی خالص

کارایی فنی خالص الگوی دیگری در تحلیل پوششی داده‌ها است که بنکر (Banker et al., 1984) آن را معرفی کرد. این الگو را الگوی BCC می‌نامند و محاسبه کارایی فنی واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت بازده به مقیاس متغیر است. کارایی فنی خالص می‌تواند هر دو کارایی فنی و بازده به مقیاس را از هم جدا کند. مزیت اصلی الگوی BCC این است که مزارع ناکارآمد در قیاس تنها با مزارع کارآمد هم اندازه مشابه خود مقایسه خواهد شد (Barnes, 2006). موارد فوق می‌تواند توسط برنامه خطی دوگانه^۱ به شرح رابطه‌های ۱۵ تا ۱۷ بیان شود.

$$z = u y_i - u_i \quad \text{حداکثر} \quad (14)$$

$$v x_i = 1 \quad \text{به شرط:} \quad (15)$$

$$-vX + uY - u_0 e \leq 0 \quad (16)$$

$$v \geq 0, u \geq 0, u_0 \quad \text{متغیر آزاد} \quad (17)$$

که در آن،

نسبت دو نمره بیان گردد (Sarica & Or, 2007).

شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف^۱

شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف را می‌توان در تجزیه و تحلیل واحدهای تصمیم‌گیری کارآمد و ناکارآمد به کار برد که نشان‌دهنده سطح ناکارآمدی برای هر واحد تصمیم‌گیری با توجه به مصرف انرژی است و به صورت رابطه ۱۸ بیان می‌شود (Hu & Kao, 2007; Amid et al., 2016):

نتایج و بحث

$$ESTR_j = \frac{(EST)_j}{(AEI)_j} \quad (18)$$

که در آن،

$ESTR$ = نسبت صرفه‌جویی انرژی هدف؛ EST = مقدار صرفه‌جویی انرژی هدف؛ و AEI = مقدار انرژی مصرفی واقعی^۳.

هدف از صرفه‌جویی در انرژی، کاهش مقدار نهاده ورودی بدون کاهش سطح خروجی است و نشان‌دهنده زامین واحد تصمیم‌گیری ذخیره‌کننده انرژی است. مقدار حداقل در شاخص نسبت صرفه‌جویی انرژی به هدف صفر است، بنابراین، مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بین صفر و یک خواهد بود. صفر بودن شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف نشان می‌دهد واحدهای تصمیم‌گیری در مرز کارا هستند مانند آنهایی که کارآمد هستند؛ از سوی دیگر، برای واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآمد، مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بزرگتر از صفر است و به آن معنی است که می‌توان انرژی را ذخیره کرد. مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بزرگتر، به معنی ناکارایی انرژی بالاتر است و مقدار صرفه‌جویی در انرژی بیشتری برای آن واحد تصمیم‌گیری می‌توان پیش‌بینی کرد (Hu & Kao, 2007). مفهوم انرژی مصرفی واقعی انرژی‌ای است که در واحدهای تصمیم‌گیری و در شرایط موجود به مصرف می‌رسد و انرژی مصرفی بهینه (انرژی هدف) با روش تحلیل پوششی داده‌ها یا به عبارتی با پوشش‌دادن داده‌ها و مقایسه آنها با مرز کارایی تعیین می‌شود. در واقع، این روش مقدار بهینه انرژی مصرفی را به مدیران واحدها پیشنهاد می‌دهد تا آنها بتوانند کارایی واحد خود را ارتقا دهند.

در جدول ۲ میانگین مصرف نهاده‌ها و تولید ستانده‌ها و مقدار انرژی آنها برای هر رأس گاو در یک دوره پرورش آمده است. مقدار کل انرژی ورودی ۱۹۳۶۹۰/۷۵ مگاژول به‌ازای هر رأس دام محاسبه شد. بیشترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی را خوراک دام با ۷۶/۹۶ درصد داشت. در بین خوراک‌های عمده مصرفی گاو شیری هلشتاین کنسانتره، یونجه، ذرت و کاه و کلش به‌ترتیب سهم ۳۲/۹۹، ۲۷/۶۸، ۱۳/۸ و ۲/۴۸ درصد از کل انرژی مصرفی داشتند. پس از خوراک دام، سوخت دیزل و الکتریسیته به‌ترتیب با ۸/۹۳ و ۴/۴۵ درصد بیشترین سهم از کل انرژی مصرفی یک رأس دام در یک دوره پرورش داشتند. کمترین سهم انرژی مصرفی را نیروی انسانی با سهم ۰/۲۲ درصد از کل انرژی ورودی‌ها داشت. مقدار کل انرژی ستانده ۳۶۸۸۶/۴۸۲ مگاژول به‌ازای هر رأس دام به دست آمد که بیشترین سهم را شیر تولیدی با ۸۷/۰۲ درصد از کل انرژی ستانده داشت و سپس کود حیوانی و گوشت گوساله نر و گاو حذفی به‌ترتیب ۵/۷۹، ۴/۳۳ و ۲/۷۹ درصد از کل انرژی ستانده را به خود اختصاص دادند. کمترین سهم انرژی ستانده‌ها مربوط به گوشت تلیسه با ۰/۰۷ درصد بود.

نتیجه به دست آمده منطقی است زیرا کمتر دامداری تلیسه جوان خود را که آماده برای بارداری شکم اول است حاضر است بفروشد و آن را از چرخه تولید حذف کند.

جدول ۳ شاخص‌های مصرف انرژی را در گاوداری‌های شیری استان تهران نشان می‌دهد. کارایی مصرف انرژی ۰/۱۹ تعیین شد. خالص انرژی

1- Energy Saving Target Ratio (Estr)

2- Energy Saving Target

3- Actual Energy Input

۱۵۶۸۰۴/۲۷۲ مگاژول بر هر رأس دام محاسبه شده و منفی بود زیرا کل انرژی ستانده به‌ازای هر رأس دام در یک دوره پرورش کمتر از کل انرژی نهاده‌های مصرفی بود. بهره‌وری انرژی و شدت انرژی به‌ترتیب ۰/۰۸۶ کیلوگرم بر مگاژول و ۱۱/۶۳۶ مگاژول بر کیلوگرم تعیین گردید.

جدول ۲ - مقدار مصرف یا تولید و مقدار انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها به‌ازای یک رأس دام در سال

Table 2- Amount and energy equivalent of inputs and outputs for dairy cow produce in Tehran province (a head of cow in year)

نهادها Inputs	واحد Unit	مقدار Amount	مقدار انرژی (مگاژول بر واحد) Energy (MJ/unit)	سهم (درصد) Share (%)
نیروی انسانی	Labor	ساعت	۲۲۱/۵۲	۰/۲۲
سوخت دیزل	Diesel	لیتر	۳۶۳/۲۸	۸/۹۳
بنزین	Gasoline	لیتر	۹۱/۷۷	۲/۱۹
گاز طبیعی	Natural gas	مترمکعب	۱۰۰/۵۴	۲/۵۷
ماشین و تجهیزات	Machine and equipments	ساعت	۵۱/۳۸	۱/۶۹
الکتریسیته	Electricity	کیلو وات ساعت	۷۲۱/۸۹	۴/۴۵
ساختمان	Building	متر مربع در سال	۳۷/۸۰	۲/۹۹
خوراک	Feed	کیلوگرم	۱۴۴۶۵/۰۳	۷۶/۹۶
یونجه	Alfa alfa	کیلوگرم	۴۰۴۴/۷۶	۲۷/۶۸
ذرت	Corn	کیلوگرم	۶۷۰۱/۵۰	۱۳/۸۱
کنسانتره	Concentrate	کیلوگرم	۳۱۹۹/۱۱	۳۲/۹۹
کاه گندم	Wheat straw	کیلوگرم	۵۱۹/۶۷	۲/۴۸
کل انرژی ورودی	Total energy input			۱۹۳۶۹۰/۷۵
ستانده‌ها Outputs				
شیر	Milk	کیلوگرم	۹۱۷۱/۰۴	۸۷/۰۲
گوشت گاو	Meat	کیلوگرم	۱۱۱/۶۶	۲/۷۹
گوشت گوساله	Calf	کیلوگرم	۲۴۵/۶۴	۴/۳۳
گوشت تلیسه	Heifer	کیلوگرم	۴/۲۳	۰/۰۷
کود حیوانی	Cow manure	کیلوگرم	۷۱۱۳/۹۴	۵/۷۹
کل انرژی ستانده	Total energy output			۳۶۸۸۶/۴۸۲

جدول ۳ - شاخص‌های مصرف انرژی در پرورش گاو شیری

Table 3- In dairy cow production Energy indices

شاخص Index	واحد Unit	مقدار Amount
کارایی مصرف انرژی	Energy use efficiency	۰/۱۹۰
خالص انرژی	Net energy gain	-۱۵۶۸۰۴/۲۷۲
بهره‌وری انرژی	Energy productivity	۰/۰۸۶
شدت انرژی	Specific energy	۱۱/۶۳۶

۱۵ با مقدار ۳۰/۱۲۴ مگاژول بر کیلوگرم تعیین شد. بیشترین میزان خالص انرژی مصرفی برای گاو‌داری شماره ۱ با مقدار ۰/۱۱۴ مگاژول بر هر رأس دام تعیین شد و تنها گاو‌داری بود که خالص انرژی مصرفی آن مثبت بود، که به دلیل فعالیت در مقیاس بسیار کوچک و مصرف بسیار محدود نهاده‌های تولیدی بود. کمترین خالص انرژی مصرفی برای گاو‌داری شماره ۱۵ با مقدار ۲۴۲۵۵۰/۴۰- مگاژول بر هر رأس دام تعیین گردید.

جدول ۴ آماره‌های شاخص‌های انرژی را نشان می‌دهد. کمترین کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب با مقدار ۰/۰۸۶ و ۰/۰۳۳ کیلوگرم بر مگاژول و بیشترین کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب با مقدار ۰/۳۸۶ و ۰/۱۸۲ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد.

کمترین شاخص شدت انرژی برای گاو‌داری شماره ۱۷ با مقدار ۵/۴۹ مگاژول بر کیلوگرم و بیشترین شاخص شدت انرژی برای گاو‌داری شماره

جدول ۴- شاخص‌های آماری شاخص‌های انرژی در واحدهای مورد مطالعه

Table 4- Statistical indicators of energy indices

شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy (MJ/kg)	خالص انرژی (مگاژول بر هر رأس دام) Net Energy Gain (MJ/a head of cow)	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy Productivity (kg/MJ)	کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency		
۱۱/۶۳	-۱۵۶۸۰۴/۲۷	۰/۰۸۶	۰/۱۹۰	Mean	میانگین
۳۰/۱۲	۰/۱۱۴	۰/۱۸۲	۰/۳۸۶	Maximum	بیشینه
۵/۴۹	-۲۴۲۵۵۰/۴۰	۰/۰۳۳	۰/۰۸۶	Minimum	کمینه
۵/۴۲	۴۵۵۷۳/۴۹	۰/۰۳۴	۰/۰۷۰	Standard deviation	انحراف معیار

خروجی و مازادی در ورودی نداشته باشد کارایی قوی است و اگر کارایی واحدی برابر ۱ باشد و کمبودی در خروجی‌ها یا مازادی در ورودی‌ها داشته باشد کارایی ضعیف است.

کارایی مقیاس واحدها پرورش گاو شیری در جدول ۵ آمده است. تنها واحد پرورش گاو شیری شماره ۱۷ در اندازه مناسب کار می‌کند و سایر واحدهای پرورش دارای ناکارایی مقیاس هستند و در اندازه مناسب فعالیت ندارند لذا تمام ناکارایی محاسبه شده در مدل بازده به مقیاس ثابت مربوط به ناکارایی مدیریتی نیست بلکه بخشی از ناکارایی مرتبط با ناکارایی در مقیاس فعالیت است.

نتایج تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس مدل CCR (بازده به مقیاس ثابت) و BCC (بازده به مقیاس متغیر) و رویکرد ورودی محور در جدول ۵ آمده است.

در مدل بازده به مقیاس ثابت، تنها واحد پرورش گاو شیری ۱۷ (DMU17) کارا شد و سایر واحدهای پرورش کارایی فنی کمتر از واحد داشتند و ناکارا شدند. در مدل بازده به مقیاس متغیر، واحدهای پرورش گاو شیری ۱۷ و ۱۶ (DMU17 و DMU16) کارا بودند و سایر واحدها کارایی فنی خالص کمتر از واحد داشتند و ناکارا بودند. اگر کارایی گاو‌داری برابر ۱ باشد و کمبودی در

جدول ۵- انواع کارایی واحدهای پرورش گاو شیری تهران

Table 5- score of efficiency for dairy cow production in Tehran province

کارایی مقیاس Scale efficiency	بازده به مقیاس متغیر Variable return to scale			بازده به مقیاس ثابت Constant return to scale		شماره گاوداری DMU No.
	بازده به مقیاس Return to scale	وضعیت کارایی Efficiency position	کارایی فنی خالص Pure Technical Efficiency	وضعیت کارایی Efficiency position	کارایی فنی Technical Efficiency	
۰/۹۳۲	افزایشی	ناکارا	۰/۸۹۶	ناکارا	۰/۸۳۶	DMU1
۰/۹۷۱	افزایشی	ناکارا	۰/۸۹۳	ناکارا	۰/۸۶۷	DMU2
۰/۹۴۱	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۵	ناکارا	۰/۸۸۰	DMU3
۰/۹۲۱	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۶	ناکارا	۰/۸۷۱	DMU4
۰/۹۷۵	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۲	ناکارا	۰/۹۱۹	DMU5
۰/۹۷۵	افزایشی	ناکارا	۰/۹۰۸	ناکارا	۰/۸۸۶	DMU6
۰/۹۸۲	افزایشی	ناکارا	۰/۸۹۷	ناکارا	۰/۸۸۱	DMU7
۰/۹۵۳	افزایشی	ناکارا	۰/۹۰۲	ناکارا	۰/۸۵۹	DMU8
۰/۹۶۶	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۳	ناکارا	۰/۹۰۲	DMU9
۰/۹۶۲	افزایشی	ناکارا	۰/۹۲۱	ناکارا	۰/۸۸۶	DMU10
۰/۹۴۶	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۴	ناکارا	۰/۸۸۴	DMU11
۰/۹۳۵	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۳	ناکارا	۰/۸۷۲	DMU12
۰/۹۴۱	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۰	ناکارا	۰/۸۸۵	DMU13
۰/۹۳۷	افزایشی	ناکارا	۰/۸۶۴	ناکارا	۰/۸۱۰	DMU14
۰/۹۱۲	افزایشی	ناکارا	۰/۸۴۷	ناکارا	۰/۷۷۲	DMU15
۰/۹۹۷	افزایشی	کارای قوی	۱/۰۰۰	ناکارا	۰/۹۹۷	DMU16
۱/۰۰۰	ثابت	کارای قوی	۱/۰۰۰	کارای قوی	۱/۰۰۰	DMU17
۰/۹۴۴	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۱	ناکارا	۰/۸۸۸	DMU18
۰/۹۵۰	افزایشی	ناکارا	۰/۹۵۱	ناکارا	۰/۹۰۴	DMU19
۰/۹۴۸	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۵	ناکارا	۰/۸۸۷	DMU20
۰/۹۶۴	افزایشی	ناکارا	۰/۹۲۳	ناکارا	۰/۸۹۰	DMU21
۰/۹۴۸	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۱	ناکارا	۰/۸۸۲	DMU22
۰/۹۸۲	افزایشی	ناکارا	۰/۹۳۸	ناکارا	۰/۹۲۱	DMU23
۰/۹۸۶	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۰	ناکارا	۰/۹۲۷	DMU24
۰/۹۷۵	افزایشی	ناکارا	۰/۹۰۹	ناکارا	۰/۸۸۷	DMU25
۰/۹۳۹	افزایشی	ناکارا	۰/۹۱۱	ناکارا	۰/۸۵۵	DMU26
۰/۹۲۳	افزایشی	ناکارا	۰/۹۶۳	ناکارا	۰/۸۸۹	DMU27
۰/۹۴۸	افزایشی	ناکارا	۰/۹۴۲	ناکارا	۰/۸۹۳	DMU28
۰/۹۸۹	افزایشی	ناکارا	۰/۹۷۴	ناکارا	۰/۹۶۳	DMU29
۰/۹۸۶	افزایشی	ناکارا	۰/۹۸۹	ناکارا	۰/۹۷۶	DMU30

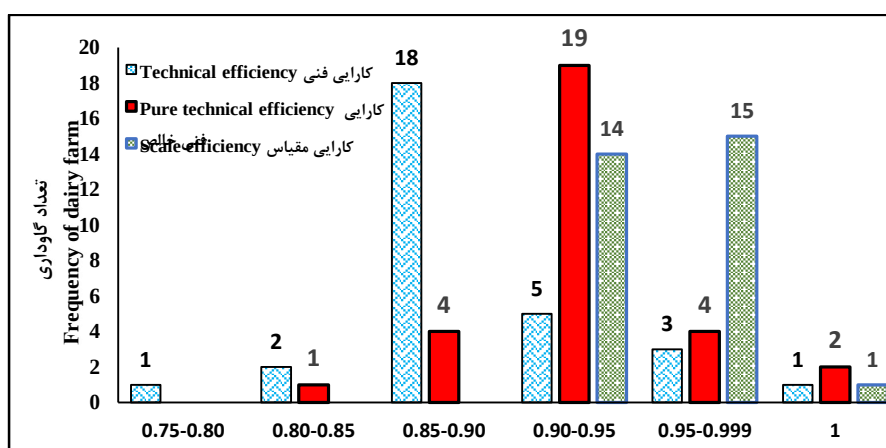
جدول ۶ میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار انواع کارایی را در ۳۰ گاوداری مورد مطالعه نشان می‌دهد. میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای گاوداری‌های شیری استان تهران به ترتیب ۰/۸۹۲، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۵۸ محاسبه شد. کمترین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای گاوداری شماره ۱۵ به دست آمد.

جدول ۶ - شاخص‌های آماری انواع کارایی انرژی
Table 6- Statistical indicators of energy efficiency

انواع کارایی	میانگین	انحراف معیار	مقدار حداقل	مقدار حداکثر
	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
کارایی فنی Technical efficiency	۰/۸۹۲	۰/۰۴۸	۰/۷۷۲	۱
کارایی فنی خالص Pure technical efficiency	۰/۹۳۱	۰/۰۳۵	۰/۸۴۷	۱
کارایی مقیاس Scale efficiency	۰/۹۵۸	۰/۰۲۴	۰/۹۱۲	۱

فراوانی انواع کارایی در طبقات مختلف در شکل ۲ مشخص شده است. در این شکل دیده می‌شود از ۳۰ گاوداری شیری مورد بررسی، از نظر کارایی فنی فقط یک گاوداری دارای کارایی فنی یک شد و کارا بود، ۳ گاوداری دارای کارایی فنی بیش از ۰/۹۵ و کمتر از ۰/۹۵، ۵ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۹۵-۰/۹، ۱۸ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۸۵-۰/۹، ۲ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۸-۰/۸۵ و یک گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۷۵-۰/۸ بود. از ۳۰

گاوداری شیری مورد بررسی، از نظر کارایی فنی فقط یک گاوداری دارای کارایی فنی یک شد و کارا بود، ۳ گاوداری دارای کارایی فنی بیش از ۰/۹۵ و کمتر از ۰/۹۵، ۵ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۹۵-۰/۹، ۱۸ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۸۵-۰/۹، ۲ گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۸-۰/۸۵ و یک گاوداری دارای کارایی فنی ۰/۷۵-۰/۸ بود. از ۳۰



شکل ۲- فراوانی انواع کارایی در طبقات مختلف

Fig. 2- Frequency of efficiency in different classes

جدول ۷ میزان صرفه‌جویی انرژی پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی و شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف را در واحدهای ناکارای گاوشیری مورد مطالعه ارائه می‌کند.

میانگین انرژی هدف در گاوداری‌های شیری استان تهران ۱۲۹۷۶۴/۱۵ مگاژول به‌ازای هر رأس دام و میانگین صرفه‌جویی انرژی پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی در دامداری‌های ناکارای گاو شیری استان تهران ۶۳۹۲۶/۵۳ مگاژول به‌ازای هر رأس دام محاسبه شد.

بیشترین صرفه‌جویی انرژی در گاوداری ناکارای شماره ۱۵ به مقدار ۱۳۴۸۳۰/۸۷ مگاژول به‌ازای هر رأس دام و بیشترین شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف برای همین گاوداری با مقدار ۵۰/۱ درصد تعیین شد.

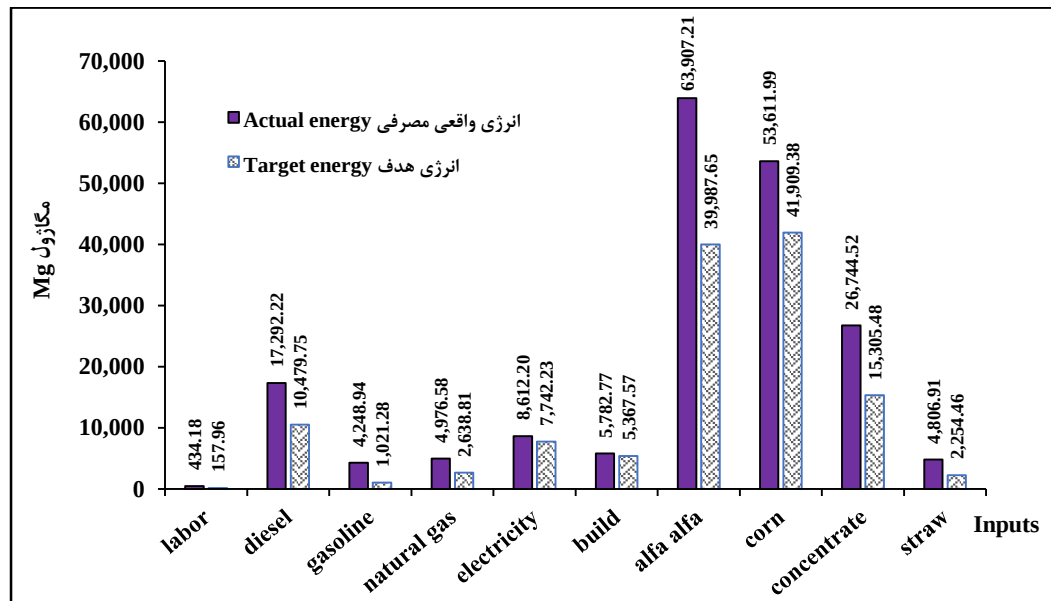
جدول ۷- میزان صرفه‌جویی انرژی و شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف در گاوداری‌های شیری مورد مطالعه استان تهران

Table 7- Amount of energy saving and energy saving target ratio for dairy cow produce in tehran province

انرژی مصرفی واقعی (مگاژول بازای هر رأس دام)	انرژی مصرفی هدف (مگاژول بازای هر رأس دام)	میزان صرفه‌جویی (مگاژول بازای هر رأس دام)	صرفه‌جویی انرژی (نسبت به هدف (درصد))	
Actual energy consumption (MJ per a head of cow)	Target energy (MJ per a head of cow)	Energy saving (MJ per a head of cow)	ESTR _{DMUs} (%)	
۲۳۷۹۳۱/۱۷۶۳	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۱۰۷۲۶۹/۳۹	۴۵/۰۸	DMU1
۲۰۴۳۸۲/۸۶۶۹	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۷۳۷۲۱/۰۸	۳۶/۰۷	DMU2
۱۹۵۰۹۲/۰۹۱۹	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۴۴۳۰/۳۱	۳۳/۰۳	DMU3
۱۹۰۸۶۸/۷۲۳۴	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۰۲۰۶/۹۴	۳۱/۵۴	DMU4
۱۹۱۲۱۰/۲۳۹۴	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۰۵۴۸/۴۵	۳۱/۶۷	DMU5
۱۹۷۱۰۶/۱۸۶۸	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۶۴۴۴/۴۰	۳۳/۷۱	DMU6
۲۰۳۲۶۱/۲۱۱۶	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۷۲۵۹۹/۴۲	۳۵/۷۲	DMU7
۲۳۳۰۲۵/۰۲۲۱	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۱۰۲۳۶۳/۲۴	۴۳/۹۳	DMU8
۱۹۲۸۲۸/۲۹۰۶	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۲۱۶۶/۵۰	۳۲/۲۴	DMU9
۱۹۴۸۴۸/۹۰۵۳	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۴۱۸۷/۱۲	۳۲/۹۴	DMU10
۱۹۲۵۶۶/۸۵۸۴	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۱۹۰۵/۰۷	۳۲/۱۵	DMU11
۱۹۲۷۵۵/۲۹۴۳	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۲۰۹۳/۵۱	۳۲/۲۱	DMU12
۱۹۱۶۹۴/۷۱۸۹	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۱۰۳۲/۹۳	۳۱/۸۴	DMU13
۲۶۰۲۸۲/۳۵۸۲	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۱۲۹۶۲۰/۵۷	۴۹/۸۰	DMU14
۲۶۵۴۹۲/۶۶	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۱۳۴۸۳۰/۸۷	۵۰/۷۹	DMU15
۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	.	.	DMU16
۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	.	.	DMU17
۱۹۱۴۹۵/۸۶۹۴	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۰۸۳۴/۰۸	۳۱/۷۷	DMU18
۱۸۹۹۱۸/۹۲۴	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۵۹۲۵۷/۱۴	۳۱/۲۰	DMU19
۱۹۲۳۷۳/۹۲۵۸	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۱۷۱۲/۱۴	۳۲/۰۸	DMU20
۱۹۴۴۵۵/۶۳۹۲	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۳۷۹۳/۸۵	۳۲/۸۱	DMU21
۱۹۵۰۷۲/۴۹۰۹	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۶۸۶۱۶/۸۲	۳۵/۱۸	DMU22
۱۹۲۳۳۲/۶۸۷۳	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۶۵۸۷۷/۰۲	۳۴/۲۵	DMU23
۱۹۲۸۶۰/۸۰۴۶	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۶۶۴۰۵/۱۴	۳۴/۴۳	DMU24
۱۹۶۸۶۲/۸۱۰۲	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۶۲۰۱/۰۲	۳۳/۶۳	DMU25
۲۱۹۴۹۵/۵۰۳۶	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۸۸۸۳۳/۷۲	۴۰/۴۷	DMU26
۱۵۹۳۶۴/۶۰۰۷	۱۲۸۹۶۹/۵۳۳۸	۳۰۳۹۵/۰۷	۱۹/۰۷	DMU27
۱۹۱۲۶۸/۹۰۸۸	۱۳۰۶۶۱/۷۸۶۹	۶۰۶۰۷/۱۲	۳۱/۶۹	DMU28
۱۴۶۱۴۰/۵۷۰۹	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۱۹۶۸۴/۹۰	۱۳/۴۷	DMU29
۱۴۸۶۱۳/۸۹۴۶	۱۲۶۴۵۵/۶۶۸۳	۲۲۱۵۸/۲۳	۱۴/۹۱	DMU30
۱۹۳۶۹۰/۶۹	۱۲۹۷۶۴/۱۵	۶۳۹۲۶/۵۳	۳۱/۲۶	میانگین

در مصرف انرژی خوراک یونجه، انرژی خوراک ذرت و انرژی خوراک کنسانتره به ترتیب ۲۳۹۱۹/۵۶، ۱۱۷۰۲/۶۲ و ۱۱۴۳۹/۰۳ مگاژول به ازای هر رأس دام صرفه جویی می‌شود.

شکل ۳ میانگین انرژی مصرفی فعلی و انرژی هدف را برای هر نهاده در مدل بازده به مقیاس متغیر نشان می‌دهد. بیشترین مقدار صرفه جویی انرژی در مصرف نهاده‌های خوراک دام تعیین گردید.



شکل ۳- مقدار انرژی مصرفی واقعی و مقدار انرژی هدف در مدل بازده به مقیاس متغیر
Fig. 3- Amount of actual energy consumption and target energy with VRS model

این تحقیق به صورت توصیه‌های فنی و انواع مختلف برنامه‌های ترویجی ارائه شده و معاونت تولیدات دام وزارت جهاد کشاورزی کارشناسان و بهره‌برداران را ملزم به رعایت آن کند. همچنین وزارت جهاد کشاورزی با همکاری نهادهای دیگر می‌تواند مشوق‌های قانونی لازم را برای ایجاد انگیزه در بهره‌برداران به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی تدوین و اجرا کند.

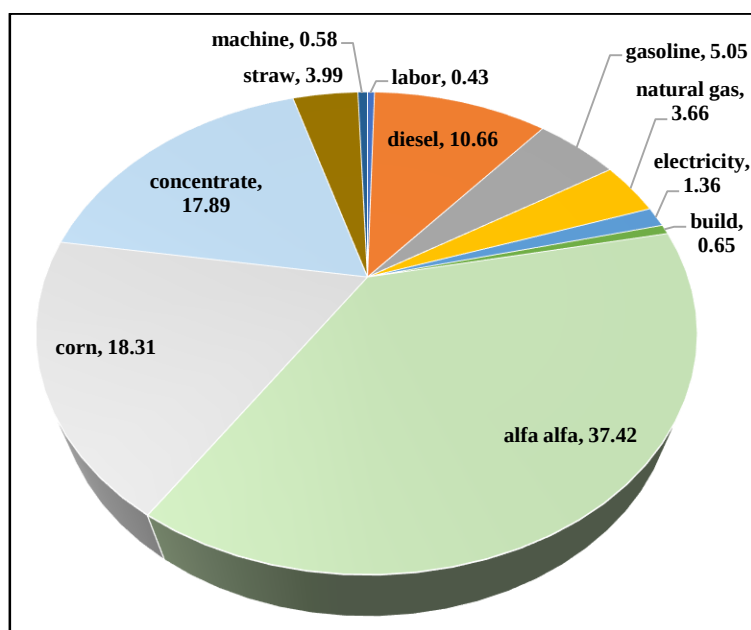
جدول ۸ میزان صرفه جویی انرژی نسبت به هدف هر نهاده را پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای ناکارای گاو شیری مورد مطالعه ارائه می‌کند. دیده می‌شود با بهینه‌سازی مصرف انرژی در گاو‌داری‌های شیری استان تهران در انرژی مصرفی بنزین تا ۷۵/۹۶ درصد می‌توان صرفه جویی انرژی داشت. به منظور عملیاتی شدن بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها در سطح واحدهای تولیدی لازم است نتایج

جدول ۸- صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف هر نهاد

Table 8- Energy saving target ratio for inputs

Percentage درصد	Inputs نهادها	
۶۳/۶۲	Labor	نیروی انسانی
۳۹/۴۰	Diesel	سوخت دیزل
۷۵/۹۶	Gasoline	بنزین
۴۶/۹۸	Natural gas	گاز طبیعی
۱۰/۱۰	Electricity	الکتریسیته
۷/۱۸	Building	ساختمان
۳۷/۴۳	Alfa alfa	یونجه
۲۱/۸۳	Corn	ذرت
۴۲/۷۷	Concentrate	کنسانتره
۵۳/۱۰	Wheat straw	کاه گندم
۱۱/۴۱	Machine and equipment	ماشین و تجهیزات

شکل ۴ سهم هر یک از نهادها را از کل صرفه‌جویی انرژی به‌ازای هر مگاژول ۶۳۹۲۶/۵۳ درصد و پس از آن نهاد خوراک ذرت سیلویی با رأس دام نشان می‌دهد. بیشترین سهم را از کل صرفه‌جویی انرژی نهاد خوراک یونجه با ۳۷/۴۲ درصد دارند.



شکل ۴- سهم صرفه‌جویی انرژی هر نهاد از کل انرژی قابل ذخیره‌سازی (درصد)

Fig. 4- Share of energy saving (%)

نتیجه‌گیری
میانگین انرژی مصرفی فعلی و انرژی هدف در میانگین صرفه‌جویی انرژی پس از رأس دام و میانگین صرفه‌جویی انرژی پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی در دامداری‌های ناکارای گاوداری‌های شیری استان تهران به‌ترتیب ۱۹۳۶۹۰/۶۹ و ۱۲۹۷۶۴/۱۵ مگاژول به‌ازای هر

پیوست

برخی از هم‌ارزهای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌های استفاده‌شده در این تحقیق بر مبنای مطالعات منابع خارجی است و در پژوهش‌های مرتبط با روند مصرف انرژی در داخل کشور به آن‌ها ارجاع می‌شود. بدیهی است با توجه به اینکه هم‌ارز انرژی برای تولید و تهیه نهاده‌ها و ستانده‌ها در داخل کشور می‌تواند تا ± 5 درصد متفاوت باشد، از هم‌ارز انرژی مراجع خارجی استفاده شد، زیرا هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها به‌طور مستقل در کشور محاسبه نشده است ولی در مطالعات آینده باید به این کار پرداخت. مثلاً با توجه به رژیم غذایی افراد، عوامل توارثی و شرایط محیطی، هم‌ارز انرژی نیروی کارگری در اروپا و آمریکا و جنوب‌شرقی آسیا با ایران متفاوت است یا در خصوص سوخت مصرفی با عنایت به تفاوت کیفیت سوخت مصرفی، روش پالایش و نحوه حمل‌ونقل سوخت، هم‌ارز انرژی سوخت فسیلی در مناطق مختلف جهان می‌تواند متفاوت باشد. هم‌ارز انرژی کودها و سموم شیمیایی هم بر حسب درصد ترکیبات، درصد خلوص سنگ معدن، روش تهیه در کارخانه‌ها و نحوه حمل و نقل از کارخانه تا مزرعه می‌تواند متفاوت باشد.

گاو شیری استان تهران $63926/53$ مگاژول به‌ازای هر رأس دام محاسبه شد. با بهینه‌سازی مصرف انرژی در گاوداری‌های شیری استان تهران کارایی مصرف انرژی از $0/19$ به $0/284$ ، بهره‌وری انرژی از $0/086$ به $0/128$ کیلوگرم بر مگاژول و خالص انرژی از $159804/27$ به $92877/67$ مگاژول به‌ازای هر رأس دام افزایش می‌یابد شدت انرژی از $11/63$ به $7/80$ مگاژول بر کیلوگرم کاهش می‌یابد. سهم صرفه‌جویی انرژی سه نهاده خوراکی اصلی در تغذیه دام شامل یونجه، ذرت سیلویی، کنسانتره از کل صرفه‌جویی انرژی $73/62$ درصد محاسبه شد. میانگین شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف $31/26$ درصد تعیین شد.

اصلاح جیره و کاهش مصرف حامل‌های انرژی به بهره‌برداران توصیه می‌شود. طراحی و ساخت ماشین‌های دامپروری با سوخت گاز طبیعی به‌جای سوخت دیزل توسط صنعتگران تاکید می‌گردد. استفاده از انرژی خورشیدی در تأمین انرژی و تدوین یارانه هدفمند برای نهاده‌های خوراکی به سیاست‌گذار پیشنهاد می‌شود. همچنین توسعه مطالعات حاضر در دیگر استان‌ها کشور و برای سایر نژادهای گاو شیری و گوشتی توصیه شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Akcaoz, H., Burhan, O., & Cemal, F. (2004). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29, 39-51. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6).
- Amid, S., Mesri Gundoshmian, T., Shahgholi, Gh. H., & Rafiei, S. (2016). Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production, using data envelopment analysis. *Information Technology in Agriculture*, 3(2), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.03.003>.

- Avkiran, N. K. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), 57-80. [https://doi.org/10.1016/S0038-0121\(00\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0121(00)00010-0).
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Barnes, A. (2006). Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of environmental management*, 80(4), 287-294. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.020>.
- Bayani, A., Abolhasani, L., & Shahnoushi Froushani, N. (2016). Energy flow in conventional dairy farms with emphasis on CO₂ emission from electricity generation and use of technical equipment and machines. *Journal of Agroecology*, 8, 2251-262. <http://doi.org/10.22067/jag.v8i2.45389>. (in Persian)
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.07.004>.
- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K. J., & Pandey, K. P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: An application of DEA. *Energy Conversion and Management*, 47, 1063-1085. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.07.004>.
- Cochran, W. G. (1997). *Sampling techniques*. Third Edition. Wiley Eastern.
- Demircan, V., Binici, T., & Zulauf, C. R. (2010). Assessing pure technical efficiency of dairy farms in Turkey. *Agricultural Economics*, 56, 141-148. <http://doi.org/10.17221/3127-AGRICECON>.
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, 35-41. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007>.
- Frorip, J., Kokin, E., Praks, J., Poikalainen, V., Ruus, A., Veermäe, I., Lepasalu, L., Schäfer, W., Mikkola, H., & Ahokas, J. (2012). Energy consumption in animal production – Case farm study. *Agronomy Research, Biosystem Engineering: Special Issue*, 1, 39-48.
- Gaillard, G., Crettaz, P., & Hausheer, J. (1997). Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Panzenbau. FAT 46 Schri; enreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtscha; und Landtechnik CH-8356 Tänikon TG.
- Ghasemi Mobtaker, H., Mohammadi, A., Rafiee, S., Keyhani, A., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 137, 367-372. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.011>.
- Ghasiri, K., Mehrnoo, H., & Jafarian, A. (2007). An introduction to the fuzzy data envelopment analysis, Vol. 1. Center of Scientific Publications Qazvin Islamic Azad University. (in Persian)
- Heidari, M. D., Omid, M., & Akram, A. (2011). Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms. *Energy*, 36, 6536-6541. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.011>
- Hu, J. L., & Kao, C. H. (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy*, 35(1), 373-382. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.032>.
- Kitani, O. (1999). *energy and biomass engineering*. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 5. ASAE Publication, St Joseph.
- Kittle, A. P. (1993). *Alternate daily cover materials and subtitle-the selection technique Rusmar*. Incorporated West Chester, PA.

- Kraatz, S. (2012). Energy intensity in livestock operations – Modeling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems*, 110, 90-106. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.007>.
- Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., & Hofman, G. (2007). Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 119(1), 135-144. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.002>.
- Molaie, M., & Sani, F. (2015). Estimation of technical and environmental efficiency of dairy farms in Sarab County (Data envelopment analysis approach). *Animal Sciences Researches*, 25(4), 141-155. (in Persian).
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., & Mohammadi, A. (2011). Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy*, 36(2), 909-916. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.020>.
- Nabipour Afroz, H., Abedi Firozjahi, R., & Loghmanpour Zarini, R. (2016). *Study of energy consumption indicis and greenhouse gas emissions in dairy cattle (Case study: Isfahan province). The first National Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Environment and Sustainable Natural Resources*. Aug. 31, Hamadan, Iran. (in Persian)
- Nassiri, S. M., & Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy*, 86(7-8), 1320-1325. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.10.007>.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29(1), 39-51. [http://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00135-6](http://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6).
- Pishgar, S. H., Keyhani, A., Rafiee, S., & Sefeedpary, P. (2011). Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy*, 36, 3335-3341. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.029>.
- Sainz, R. D. (2003). Livestock-environment initiative fossil fuels component: Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems. Available at www.fao.org.
- SarIca, K., & Or, I. (2007). Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy*, 32(8), 1484-1499. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.016>.
- Tabatabaefar, A., Emamzadeh, H. Ghasemi Varnamkhasti, M. Rahimizadeh R., & Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34, 41-45. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2008.09.023>.
- Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A. (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *The Journal of Agricultural and Environmental*, 7, 352-356.
- Tsatsarelis, C. A., & Koundouras, D. S. (1994). Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. *AgricultureEcosystemsandEnvironment*, 49(2), 123-130. [http://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90002-7](http://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90002-7).
- Vahedi, A., & Younesi Alamooti, M. (2016). Determining energy indices of broiler units in the province of Alborz. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(73), 173-192. <https://doi.org/10.22092/erams.2019.125883.1306>. (in Persian).
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 145-155. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001>.

Optimizing Energy Efficiency in Dairy Cattle Farms using A Data Envelopment Analysis Approach

Adel Vahedi

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: vahedi_adel@yahoo.com

Received: 21 August 2026, Accepted: 13 October 2026

<https://doi.org/10.22092/amsr.2026.374021.1541>

Abstract

Energy is used in different ways in the dairy industry and is wasted in the milk production process for various reasons. By using different production methods, livestock farmers play an essential role in the energy efficiency of their production unit. This research was carried out in 2024 in Tehran province to find out the indices of energy consumption, identifying efficient and inefficient dairy cattle producing farms in order to increase the efficiency of production units to the maximum and calculating the amount of energy that can be saved resulting from the optimization of energy consumption. Information was collected through questionnaires and document studies and random sampling from different dairy cattle units, and all the activities performed throughout the year were recorded. The input energy includes labor, machinery and equipment, fuel, electricity, livestock feed (hay, silage corn, concentrate and wheat straw), buildings and facilities, and the output energy includes milk, meat and cow manure produced. Energy indices including net energy gain, energy use efficiency, energy productivity and specific energy were determined. With the approach of Data Envelopment Analysis (DEA), the energy efficiency of the dairy farms was determined and the amount of energy consumption optimization in inefficient units and the total energy that could be saved was determined. The results showed that the total amount of input energy is 193690.75 MJ per head of cow, and animal feed had the largest share of input energy with 76.96%. Among the main feeds consumed by dairy cows, concentrate, alfalfa, corn and straw contributed 32.99%, 27.68%, 13.8% and 2.48% of the total energy consumption, respectively. The amount of total energy output was 36886.482 MJ per head of cow, and milk production had the largest share with 87.02% of the total energy output. The energy use efficiency, net energy gain, energy productivity and energy intensity were determined as 0.19, -156804.272 MJ per a head of cow, 0.086 kg/MJ and 11.636 MJ/Kg respectively. Average technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency were calculated for dairy farms in Tehran province as 0.892, 0.931 and 0.958 respectively. The average target energy in dairy farms of Tehran province was determined to be 129, 764.15 MJ per a head of cow. The conducted research showed that by optimizing energy consumption in inefficient dairy farms in Tehran province, an average of 63926.53 MJ per a head of cow can be saved and energy use efficiency and energy productivity can be upgraded 0.284 and 0.128 Kg/MJ, respectively.

Keywords: Energy Indices, Energy Saving, Pure Technical Efficiency, Scale Efficiency



© 2024 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)