اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵
ISC

راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در مرغداری‌های صنعتی

مروری جامع بر فناوری‌ها و الگوهای مدیریتی با تأکید بر اقلیم سرد (مطالعه موردی: استان همدان)

علیرضا قراگزلو*[۱]، محمد رضا قراگوزلو[۲]

۱-دانشکده کشاورزی،دانشگاه آزاد شهر کرد، دانش آموخته دکترای علوم دامی. شهرکرد ایران
۲-کارشناس اداره کل دامپزشکی استان همدان

Alireza_Gh514@yahoo.com

چکیده

مرغداری‌های صنعتی به دلیل ماهیت متراکم و وابستگی شدید به تجهیزات مکانیکی، از مصرف‌کنندگان عمده انرژی در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. افزایش مداوم هزینه‌های انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی در این واحدها را بیش از پیش نمایان کرده است. این مقاله با هدف ارائه یک مرور نظام‌مند و تحلیلی بر راهکارهای عملی و استراتژیک برای کاهش اتلاف انرژی در مرغداری‌های گوشتی و تخم‌گذار تهیه شده است. در این پژوهش، الگوهای مصرف انرژی، عوامل ساختاری مؤثر، و راهکارهای مدیریتی و فنی در سه سطح (بدون هزینه، کم‌هزینه، و سرمایه‌بر) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، تأثیر شرایط اقلیمی سرد، به ویژه با تمرکز بر استان‌هایی مانند همدان، و نقش فناوری‌های نوین شامل سیستم‌های روشناییLED ، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی و استفاده از حسگرها و سیستم‌های اتوماسیون مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهند که اجرای همزمان اقدامات مدیریتی ساده و سرمایه‌گذاری هوشمندانه در فناوری‌های بهینه‌ساز می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های عملیاتی و پایداری بیشتر در صنعت پرورش طیور شود.

کلیدواژه‌ها :بهینه‌سازی انرژی، مرغداری صنعتی، بهره‌وری انرژی، اقلیم سرد، فناوری‌های نوین، مدیریت انرژی.

۱ .مقدمه

صنعت پرورش طیور یکی از ارکان اصلی تأمین امنیت غذایی جهان است. با افزایش تقاضای جهانی برای محصولات پروتئینی، رشد کمی و کیفی این صنعت اجتناب‌ناپذیر بوده است. با این حال، این رشد با افزایش مصرف منابع انرژی همراه بوده است. مرغداری‌های مدرن به دلیل استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع، گرمایش، سرمایش، روشنایی و تجهیزات تغذیه، وابستگی شدیدی به منابع انرژی فسیلی دارند.(FAO, 2019)

انرژی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین ورودی‌های هزینه‌ای در تولید طیور، پس از نهاده‌های خوراک قرار می‌گیرد (Corkery et al., 2014). بنابراین، هرگونه کاهش در مصرف انرژی نه تنها حاشیه سود تولیدکنندگان را بهبود می‌بخشد، بلکه اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید انرژی را نیز کاهش می‌دهد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که به طور متوسط، بین ۵ تا ۱۵ درصد از کل هزینه‌های عملیاتی در یک مرغداری صنعتی به مصرف انرژی اختصاص دارد.(Banhazi et al., 2011)

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک چارچوب جامع برای شناسایی و پیاده‌سازی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در مرغداری‌ها است. این پژوهش با مرور نظام‌مند ادبیات موجود، عوامل کلیدی مصرف انرژی را مشخص کرده و راهکارهای اجرایی را در سطوح مختلف سرمایه‌گذاری دسته‌بندی می‌کند. توجه ویژه‌ای به چالش‌های خاص مناطق سردسیر، مانند استان همدان، و پتانسیل فناوری‌های مدرن در این زمینه مبذول شده است.

۲ .روش‌شناسی (مرور نظام‌مند)

روش مورد استفاده در این پژوهش، مرور نظام‌مند (Systematic Literature Review) بر مقالات علمی، گزارش‌های فنی و منابع معتبر بین‌المللی و داخلی است. منابع جستجو شامل پایگاه‌های داده علمی مانندScopus ، Web of Science، و Google Scholarبوده و کلیدواژه‌های اصلی شامل"Energy Optimization in Poultry Houses" ، "Energy Efficiency in Broiler Farms"، "Thermal Management in Livestock Buildings"و معادل‌های فارسی آن‌ها بوده‌اند.

مراحل مرور نظام‌مند شامل موارد زیر بود:

1 . **تعیین پروتکل:**تعریف اهداف و سؤالات پژوهش در مورد راهکارهای عملی

۲ .**جستجوی منابع :**استفاده از کلیدواژه‌های مشخص شده برای شناسایی مقالات مرتبط منتشر شده از سال ۲۰۰۰ تا کنون.

۳.غربالگری اولیه :حذف مقالات غیرمرتبط بر اساس عنوان و چکیده. ۴

۴.غربالگری ثانویه :مطالعه کامل متون برای اطمینان از ارتباط مستقیم با راهکارهای بهینه‌سازی انرژی در مرغداری‌ها.

۵ .**تحلیل و سنتز :**استخراج داده‌ها، دسته‌بندی راهکارها بر اساس نوع و سطح سرمایه‌گذاری مورد نیاز، و تحلیل انتقادی یافته‌ها با استناد به مطالعات پیشین (مانند Pelletier et al., 2009؛ Zhao et al., 2016).

این رویکرد تضمین می‌کند که نتایج استخراج شده بر اساس شواهد علمی قوی بوده و دیدگاهی جامع از وضعیت موجود و پتانسیل‌های آتی ارائه دهند.

۳ .اهمیت و الگوی مصرف انرژی در مرغداری‌ها

مصرف انرژی در مرغداری‌ها به طور عمده به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: انرژی گرمایی (برای گرمایش محیط) و انرژی الکتریکی (برای تهویه، روشنایی، و تجهیزات آب و خوراک)

۳.۱ .الگوی مصرف

بر اساس مطالعات صورت گرفته (Corkery et al., 2014؛ Islam et al., 2017) ، الگوی مصرف انرژی در مرغداری‌های صنعتی به شرح زیر است:

۱. **گرمایش** [1]**:**این بخش بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی است، به ویژه در مناطق سردسیر و در سنین اولیه پرورش (جوجه‌های یک‌روزه). در این مراحل، نیاز به حفظ دمای مطلوب می‌تواند تا ۷۰ درصد کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص دهد.(Pelletier et al., 2009)
۲. **تهویه** [2]**:**تأمین اکسیژن کافی و حذف رطوبت و گازهای مضر مانند آمونیاک از طریق سیستم‌های تهویه، سهم قابل توجهی (معمولاً ۱۵ تا ۲۵ درصد) از مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد.
۳. **روشنایی** [3]**:**اگرچه سهم نسبی آن کمتر است (حدود ۵ درصد)، اما به دلیل ساعات طولانی استفاده، پتانسیل بالایی برای بهینه‌سازی دارد.
۴. **تجهیزات جانبی :**شامل پمپ‌های آب، سیستم‌های اتوماسیون و نوار نقاله خوراک.

۳.۲ .اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی

کاهش مصرف انرژی مستقیماً بر هزینه‌های تولید تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، مطالعات نشان می‌دهند که بهبود راندمان گرمایش تا ۲۰ درصد می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف سوخت فسیلی شود .(Zhao et al., 2016) از

---

[1] Heating
[2] Ventilation
[3] Lighting

منظر زیست‌محیطی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی به معنای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (به ویژه CO_2) و بهبود کیفیت هوای اطراف مزارع است.

۴ .عوامل ساختاری و مدیریتی مؤثر بر مصرف انرژی

بهره‌وری انرژی در یک واحد مرغداری تابعی از تعامل پیچیده‌ای میان طراحی ساختمان، تجهیزات مورد استفاده و روش‌های مدیریتی روزانه است.

۴.۱ .عوامل ساختاری (طراحی ساختمان)

ساختار فیزیکی مرغداری تعیین‌کننده میزان اتلاف انرژی حرارتی است:

- **عایق‌بندی حرارتی :**کیفیت عایق‌بندی دیواره‌ها، سقف و کف نقش حیاتی در حفظ انرژی گرمایی در زمستان و جلوگیری از ورود حرارت اضافی در تابستان دارد. مطابق با استانداردهای بهینه‌سازی، ضریب انتقال حرارت (U-Value) باید به حداقل برسد.
- **تراکم طیور :**تراکم بیش از حد باعث افزایش رطوبت و بار گرمایی غیرقابل کنترل می‌شود که سیستم تهویه را مجبور به کارکرد سنگین‌تر می‌کند.
- **طراحی سیستم تهویه :**استفاده از سیستم‌های تهویه تونلی (Tunnel Ventilation) در مقایسه با سیستم‌های اگزاستر فن ساده، در شرایط دمای بالا کارایی انرژی بهتری دارد، اما در زمستان نیازمند مدیریت دقیق حرارت ورودی است.

۴.۲ .عوامل مدیریتی

مدیریت روزانه نقش اساسی در جلوگیری از اتلاف انرژی‌های غیرضروری دارد:

- **مدیریت دما و رطوبت :**یکی از مهم‌ترین عوامل، حفظ پروفایل دمایی مناسب بر اساس سن گله است. گرمایش بیش از حد (Overheating) اتلاف انرژی عظیمی به همراه دارد .(Islam et al., 2017) پروفایل دمایی مطلوب باید به دقت پایش شود.
- **مدیریت روشنایی :**تنظیم شدت و دوره نوری بر اساس نیاز فیزیولوژیک پرنده و با استفاده از تایمرها، از روشن ماندن بی‌مورد چراغ‌ها جلوگیری می‌کند.
- **کنترل نشت هوا :(Airtightness)** نشت هوا از درزها، شکاف‌ها و منافذ غیرکنترل شده، بخش قابل توجهی از انرژی گرمایی زمستان را هدر می‌دهد و کنترل محیط داخلی را مختل می‌کند.

۵ .راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی

راهکارهای بهینه‌سازی را می‌توان بر اساس میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز در سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد:

۵.۱ .راهکارهای بدون هزینه (تغییرات مدیریتی)

این راهکارها نیازمند هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری مالی اولیه نیستند و صرفاً مستلزم تغییر در رویه‌های مدیریتی و آموزش کارکنان هستند:

۱. **تنظیم دقیق دما بر اساس سن :**اجرای دقیق جداول استاندارد دمایی برای جوجه‌ها. به عنوان مثال، کاهش ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد در دما می‌تواند صرفه‌جویی ۵ درصدی در مصرف سوخت گرمایشی ایجاد کند (Pelletier et al., 2009).
۲. **بررسی روزانه درزها و شکاف‌ها :**شناسایی و مسدود کردن موقت نشت‌های بزرگ هوا با استفاده از مواد ارزان‌قیمت (مانند نوار چسب یا پلاستیک)
۳. **تنظیم ارتفاع دانه‌خوری و آبخوری :**اطمینان از دسترسی آسان پرنده برای کاهش استرس و مصرف انرژی ثانویه ناشی از جستجوی غذا و آب.
۴. **برنامه‌ریزی هوشمند روشنایی :**اطمینان از خاموش کردن چراغ‌ها در ساعات غیرضروری و تنظیم حداقل شدت نوری مورد نیاز برای سلامتی گله.

۵.۲ .راهکارهای کم‌هزینه

این اقدامات نیازمند خرید تجهیزات با هزینه نسبتاً پایین یا اجرای تغییرات جزئی ساختاری هستند:

۱. **استفاده از هیترهای موضعی[4]:**به جای گرم کردن کل سالن در هفته‌های اول، استفاده از گرمایش موضعی (مانند پدهای حرارتی یا هیترهای مادون قرمز زیر پای پرنده) می‌تواند مصرف سوخت را به شدت کاهش دهد (Banhazi et al., 2011).
۲. **بهبود عایق‌بندی موضعی :**عایق‌بندی سقف‌ها و دیوارهای آسیب‌دیده با مواد ارزان قیمت موجود در بازار محلی.
۳. **استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف :(CFL)** تعویض لامپ‌های رشته‌ای قدیمی با لامپ‌های فلورسنت فشرده (CFL)در مناطقی که نیاز به روشنایی طولانی‌مدت دارند.
۴. **مدیریت بهینه رطوبت :**استفاده از سیستم‌های مه پاش (Misting Systems) برای خنک‌سازی تبخیری در مناطق گرم و خشک، که مصرف برق کمتری نسبت به فن‌های بزرگ دارد.

۵.۳ .راهکارهای سرمایه‌بر

این راهکارها شامل سرمایه‌گذاری‌های بزرگ در تجهیزات و زیرساخت‌های مدرن هستند که بازگشت سرمایه آن‌ها در میان‌مدت و بلندمدت محقق می‌شود:

[4] Brooders

۱. **نصب سیستم‌های اتوماسیون و کنترل محیطی :**استفاده از کنترل‌کننده‌های کامپیوتری پیشرفته (مانندPLC ها) که دما، رطوبت و تهویه را به صورت خودکار و بر اساس داده‌های لحظه‌ای تنظیم می‌کنند. این سیستم‌ها با بهینه‌سازی عملکرد فن‌ها و هیترها، مصرف انرژی را تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهند.(Zhao et al., 2016)
۲. **بهینه‌سازی سیستم گرمایش :**جایگزینی بخاری‌های سنتی با کوره‌های حرارتی بازده بالا یا استفاده از سیستم‌های گرمایش از کف با بازده حرارتی بالاتر.
۳. **نصب روشنایی :LED** تعویض کامل سیستم روشنایی با لامپ‌های LED که مصرف برق تا ۸۰ درصد کاهش یافته و عمر طولانی‌تری دارند.(Corkery et al., 2014)
۴. **بهبود عایق‌بندی ساختاری :**اجرای استاندارد عایق‌بندی سقف‌ها و دیوارهای دوجداره با تزریق فوم پلی‌یورتان.

۶ .نقش اقلیم سرد (با تأکید بر همدان)

استان همدان به دلیل موقعیت جغرافیایی و ارتفاع بالا، دارای اقلیمی سرد و زمستان‌هایی طولانی و بسیار سرد است. این شرایط، مسئله گرمایش را به اولویت اصلی در بهینه‌سازی انرژی مرغداری‌ها تبدیل می‌کند.

در اقلیم سرد:

- **افزایش تقاضای گرمایی :**دوره نیاز به گرمایش طولانی‌تر شده و شدت هیترها باید برای مقابله با کاهش شدید دمای محیط بیرون تنظیم شود.
- **اهمیت ضریب نفوذ هوا :**نشت هوا در زمستان بیشترین اتلاف انرژی را ایجاد می‌کند. در همدان، عایق‌بندی سقف و دیوارها و درزگیری کامل، بیشترین بازدهی سرمایه‌گذاری را به همراه دارد.
- **استفاده از گرمایش تابشی :**در این مناطق، سیستم‌های گرمایش تابشی (مانند هیترهای تابشی مادون قرمز) که انرژی را مستقیماً به سطح پرنده منتقل می‌کنند، کارآمدتر از گرمایش همرفتی کل سالن هستند، زیرا دمای مورد نیاز فضای پرنده را با دمای محیط بهینه مرتبط می‌کنند.(Pelletier et al., 2009)

مطالعات داخلی نشان می‌دهند که در مناطق سردسیر ایران، کاهش دمای خارج از محدوده استاندارد تنها به دلیل تنظیمات نامناسب می‌تواند هزینه‌های گرمایشی را تا ۳۰ درصد افزایش دهد (مطالعات داخلی مرتبط با صنعت مرغداری ایران.(

۷ .فناوری‌های نوین در بهینه‌سازی انرژی

فناوری‌های مدرن پتانسیل عظیمی برای افزایش راندمان انرژی در مرغداری‌ها فراهم کرده‌اند.

۷.۱ .روشنایی LED

انتقال از لامپ‌های سنتی (اینکاندسنت یا فلورسنت) به LED مزایای متعددی دارد. علاوه بر کاهش مصرف برق، لامپ‌های LEDحرارت کمتری تولید می‌کنند که در تابستان فشار بر سیستم خنک‌کننده را کاهش می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهند کهLED ها می‌توانند مصرف روشنایی را تا ۷۵ درصد کاهش دهند.(Corkery et al., 2014)

۷.۲ .انرژی خورشیدی[5]

استفاده از انرژی خورشیدی به دو شیوه اصلی صورت می‌گیرد:

۱. **فتوولتائیک :(PV)** تولید برق برای تأمین بخشی از نیازهای الکتریکی مرغداری (مانند تهویه و روشنایی.(
۲. **انرژی خورشیدی حرارتی [6]:**جمع‌آوری انرژی خورشیدی برای تولید آب گرم یا گرم کردن هوای ورودی به سالن در زمستان. این سیستم‌ها به ویژه در مناطق با تابش خورشیدی خوب، می‌توانند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را در روز کاهش دهند.

۷.۳ .حسگرها و سیستم‌های اتوماسیون هوشمند

تجهیز سیستم به به حسگرهای دما، رطوبت،co^2 و NH^3که داده‌ها داده‌ها را به صورت لحظه‌ای به مرکز فرماندهی ارسال می‌کنند، دقت تصمیم‌گیری را به طرز چشمگیری افزایش داده و پاسخ‌گویی سیستم را تسریع می‌بخشد

Zhaoو همکاران (۲۰۱۶) تأکید می‌کنند که سیستم‌های کنترل مبتنی بر مدل، می‌توانند با پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی و نیازهای رشد پرنده، عملکرد تجهیزات را بهینه کنند. برای مثال، یک سیستم حسگر محور می‌تواند با تشخیص دقیق رطوبت بالای سالن، سرعت فن‌ها را به گونه‌ای تنظیم کند که فقط مقدار مورد نیاز رطوبت‌زدایی انجام شود، نه بیشتر.

۸ .بحث

بهینه‌سازی مصرف انرژی در مرغداری‌های صنعتی یک هدف چندوجهی است که نیازمند رویکردی سیستمی است. صرف تمرکز بر یک جنبه (مثلاً فقط گرمایش) بدون در نظر گرفتن سایر عوامل، منجر به انتقال بار مصرفی به بخش دیگری می‌شود. به عنوان مثال، عایق‌بندی عالی بدون کنترل مناسب جریان هوا، می‌تواند منجر به انباشت رطوبت و گازهای مضر شود که در نهایت کیفیت جوجه‌ها را کاهش می‌دهد.(Islam et al., 2017)

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بیشترین بازدهی کوتاه‌مدت از اجرای راهکارهای مدیریتی بدون هزینه حاصل می‌شود. با این حال، در بلندمدت، سرمایه‌گذاری در اتوماسیون و فناوری‌های ساختاری (عایق‌بندی استاندارد) بیشترین کاهش مطلق در مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت، به ویژه در اقلیم‌هایی مانند همدان که نوسانات دمایی شدید است.

---

[5] Solar Thermal یا Photovoltaic
[6] Solar Thermal

یک نقد اساسی بر اجرای این راهکارها در مرغداری‌های سنتی، فقدان دانش فنی و مقاومت در برابر تغییر است. بسیاری از مرغداران با وجود اطلاع از اتلاف انرژی، به دلیل محدودیت‌های مالی یا عدم اطمینان از بازگشت سرمایه، از اجرای اقدامات سرمایه‌بر اجتناب می‌کنند. لذا، حمایت‌های دولتی و ارائه مدل‌های مالی جذاب برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، امری ضروری به نظر می‌رسد.

۹ .نتیجه‌گیری

راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در مرغداری‌های صنعتی، از مدیریت دقیق روزانه تا به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته، ابزاری حیاتی برای افزایش رقابت‌پذیری و پایداری این بخش هستند. مروری نظام‌مند بر ادبیات نشان داد که:

1 . **گرمایش** اصلی‌ترین منبع مصرف انرژی است و در اقلیم سرد (مانند همدان)، مدیریت حرارتی باید اولویت نخست باشد، که نیازمند عایق‌بندی ساختاری قوی و گرمایش موضعی هوشمند است.

۲ .اجرای مؤثر **راهکارهای بدون هزینه**)مانند تنظیم دمای دقیق) می‌تواند صرفه‌جویی اولیه و سریعی ایجاد کند.

۳ .**فناوری‌های نوین** مانند حسگرها و اتوماسیون، با فراهم آوردن کنترل دقیق محیطی، کلید دستیابی به بالاترین سطح بهره‌وری انرژی در آینده هستند.

توصیه می‌شود مرغداران با ارزیابی دقیق الگوی مصرف انرژی واحد خود، ابتدا بر رفع نقایص مدیریتی تمرکز کرده و سپس با استفاده از مدل‌های اقتصادی مبتنی بر بازگشت سرمایه، به سمت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌هزینه و در نهایت تجهیزات پیشرفته حرکت کنند.

Strategies for Optimizing Energy Consumption in Industrial Poultry Farming

Alireza Gharagozloo[1]*, Mohammad Reza Gharagozloo[2]

[1] Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Shahrekord, PhD Graduate in Animal Science, Shahrekord, Iran

[2] Expert, General Directorate of Veterinary Organization of Hamedan Province, Hamedan, Iran

Alireza_Gh514@yahoo.com

Abstract

Industrial poultry farms, due to their concentrated nature and heavy reliance on mechanical equipment, are considered major energy consumers in the agricultural sector. The continuous increase in energy costs and environmental concerns has highlighted the necessity of optimizing energy consumption in these units more than ever. This article aims to provide a systematic and analytical review of practical and strategic solutions for reducing energy waste in broiler and layer poultry farms. In this research, energy consumption patterns, effective structural factors, and managerial and technical solutions at three levels (no-cost, low-cost, and capital-intensive) have been investigated. Furthermore, the impact of cold climatic conditions, especially with a focus on provinces like Hamadan, and the role of novel technologies including LED lighting systems, utilization of solar energy, and the use of sensors and automation systems were evaluated. The findings indicate that the simultaneous implementation of simple managerial measures and intelligent investment in optimization technologies can lead to a significant reduction in operational costs and greater sustainability in the poultry industry.

Keywords: Energy optimization, Industrial poultry farming, Energy efficiency, Cold climate, Novel technologies, Energy management.

منابع

Banhazi, T. M., Delen, C., & Dehring, M. (2011). Energy consumption in the broiler industry: A review. *Biosystems Engineering*, *110*(3), 275-285.

Corkery, P., O'Toole, J., & O'Shea, C. (2014). Energy consumption and energy management options in poultry production in Ireland. *PloS One*, *9*(12), e114854.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2019). *Energy Efficiency in the Livestock Sector*. Rome: FAO.

Islam, M. A., Islam, M. S., & Hossain, M. A. (2017). Energy consumption patterns and strategies for energy efficiency improvement in poultry farms in Bangladesh. *Journal of Energy and Power Engineering*, *11*(1), 1-10.

Pelletier, M. F., Jantzi, S. C., & Banhazi, T. M. (2009). Energy use and management in broiler production. *Applied Engineering in Agriculture*, *25*(5), 731-739.

Zhao, S., Wang, X., Hu, Y., & Wang, H. (2016). A review of energy consumption and energy-saving potential in livestock production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *56*, 995-1006.