

Calculating the Ventilation Rate of Broiler Chick Salon by Carbon Dioxide Balance Method and Comparison with Direct Measurement Method

MOUSAREZA BAGHANI^{1*}, MOHAMMAD HOSSEIN AGHKHANI²

1. PhD student in Department of Mechanical Engineering Biosystem. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University Of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
2. Professor in Department of Mechanical Engineering Biosystem. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University Of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

(Received: Jan. 15, 2018- Revised: Apr. 25, 2018- Accepted: May. 5, 2018)

ABSTRACT

Ventilation rate of the poultries can be calculated by directly and indirectly method. This research was carried out in poultry with population of 18,000 broiler chicks in Sabzavar to compare these two methods. The output air velocity was measured in each of the fans at 24 points of the fan surface to measure the ventilation rate directly. The average speed at the effective surface of the fans was also calculated. The ventilation rate in the CO₂ equilibrium method was obtained by calculating the CO₂ production rate of chicks and measuring the CO₂ concentration at the air inlets and outlets of the poultry, using the equations of gas balance in control volume. The results showed that the difference in two methods of measurement in different conditions of the salon was less than 22% (12500 m³/h) and with increasing ventilation rate, the difference between the two methods decreased to 2%.

Key words: ventilation, poultry, carbon dioxide balance method, direct, indirect

محاسبه نرخ تهویه سالن پرورش جوجه‌های گوشتی به روش موازنه کربن دی‌اکسید و مقایسه آن با روش اندازه

گیری مستقیم

موسی الرضا باغانی^۱، محمدحسین آق‌خانی^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۱۵)

چکیده

نرخ تهویه سالن‌های پرورش مرغ گوشتی به دو روش مستقیم و غیر مستقیم قابل محاسبه است. در این پژوهش برای مقایسه‌ی این دو روش، از یک مرغداری با ظرفیت ۱۸ هزار قطعه جوجه گوشتی در شهرستان سبزوار استفاده شد. ابتدا نرخ تهویه با تعیین سرعت هوای خروجی در هر یک از فن‌ها در ۲۴ نقطه و محاسبه سطح عبور هوای هر فن، به روش مستقیم اندازه‌گیری شد، سپس نرخ تهویه به روش موازنه کربن دی‌اکسید نیز با محاسبه نرخ تولید گاز CO₂ توسط جوجه‌ها و ردیابی گاز CO₂ در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن و استفاده از معادلات تعادل گاز در حجم کنترل محاسبه شد. نتایج نشان داد که تفاوت دو روش اندازه‌گیری در شرایط مختلف سالن کمتر از ۲۲ درصد (۱۲۵۰۰ متر مکعب در ساعت) بوده و با افزایش نرخ تهویه، تفاوت دو روش تا ۲ درصد نیز کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تهویه، مرغداری، روش موازنه CO₂، مستقیم، غیر مستقیم

مقدمه

کشور ایران با تولید سالانه دو میلیون تن مرغ گوشتی، هفتمین تولید کننده مرغ گوشتی در جهان به شمار می‌رود. با توجه به این که صنعت تولید مرغ گوشتی سومین صنعت تولید گوشت پس از گاو و خوک در جهان بوده و این صنعت از صنایع پر مصرف در زمینه انرژی است، لازم است که واحدهای پرورش مرغ گوشتی در زمینه مصرف انرژی و نهاده‌ها در سطح قابل قبولی بهینه باشند (payandeh et al., 2016).

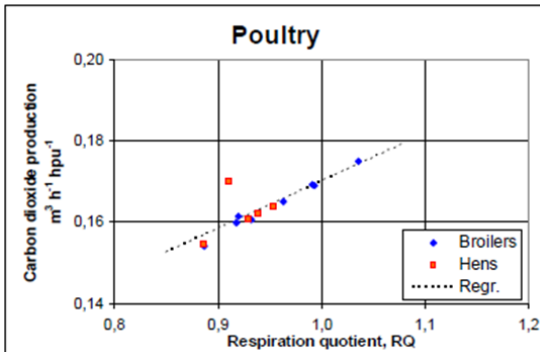
شرایط محیطی داخل سالن‌های پرورش طیور مانند دما، رطوبت، سرعت باد و غلظت انواع آلودگی‌ها، تاثیر مستقیم بر پرندگان دارد. اگر شرایط محیطی از حالت استاندارد خارج شود، پرنده دچار بیماری شده و یا انرژی حاصل از تغذیه را صرف تنظیم درجه حرارت بدن و سایر پارامترهای محیطی کرده و رشد پرنده کاهش می‌یابد و باعث کاهش عملکرد تولید افزایش مصرف انرژی خواهد شد (Norton et al., 2007).

تهویه مناسب، یکی از مهم ترین فاکتورهای موثر بر کنترل شرایط محیطی و افزایش راندمان تولید در صنعت طیور به شمار می‌رود. تهویه کمتر از حد استاندارد باعث تجمع گازهای سمی مانند CO₂ (دی اکسید کربن)، NH₃ (آمونیاک) و

... در سالن پرورش طیور شده و این اتفاق کاهش راندمان تولید، بروز مشکلات تنفسی و در نهایت بالا رفتن میزان تلفات در سالن را موجب می‌شود (Pashmi and Moradi, 2010). تهویه مناسب و وارد کردن هوای تازه با دما و رطوبت مناسب به سالن پرورش باعث افزایش بهره‌وری می‌شود، اما این کار مستلزم صرف انرژی زیادی در سامانه تهویه، گرمایش و سرمایش سالن است. اگر نرخ تهویه بیش از حد نیاز باشد با مصرف بیش از حد انرژی، هزینه‌ها افزایش یافته و راندمان اقتصادی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به محدودیت‌های موجود در منابع انرژی و پایان پذیر بودن انرژی‌های موجود، آزاد شدن قیمت سوخت در چند سال اخیر و تاثیرات جبران ناپذیر استفاده نامناسب از منابع انرژی بر محیط زیست، لازم است که با دقت بیشتری از انرژی‌های باقی مانده در محیط استفاده شود و مطالعات بیشتری در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از منابع جایگزین برای انرژی‌های موجود انجام شود (Sadrnia et al., 2017. Kiani et al., 2016).

اولین گام در جهت بهینه سازی نرخ تهویه، اندازه‌گیری آن با یک روش مناسب و دقیق است. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری نرخ تهویه سالن وجود دارد. عمده این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اندازه‌گیری مستقیم و اندازه‌گیری غیر مستقیم طبقه بندی کرد.

عنوان جایگزینی مناسب برای روش اندازه‌گیری مستقیم استفاده کرد.



شکل ۱- رابطه بین نرخ تولید CO₂ و نسبت تفسی مرغ گوشتی و مرغ تخم‌گذار

Liu *et al.* (2016) نیز از روش موازنه کربن دی اکسید برای اندازه‌گیری نرخ تهویه سالن پرورش مرغ گوشتی استفاده کردند و در مقایسه این روش با روش اندازه‌گیری مستقیم، نتایج قابل قبولی را از روش موازنه کربن دی اکسید برای اندازه‌گیری نرخ تهویه گزارش دادند.

در این پژوهش با محاسبه نرخ تولید گاز CO₂ حاصل از تنفس جوجه‌های گوشتی درون سالن مرغداری و اندازه‌گیری دقیق غلظت گاز CO₂ در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن، نرخ تهویه سالن در یک دوره پرورش جوجه گوشتی با استفاده از روش موازنه کربن دی اکسید محاسبه شده است. همچنین با به کارگیری استاندارد ها و تجهیزات اندازه‌گیری دقیق، نرخ تهویه سالن به روش مستقیم نیز با دقت زیادی اندازه‌گیری شده است. با آنالیز آماری نتایج به دست آمده از هر دو روش و ارائه یک معادله رگرسیون خطی، خطای اندازه‌گیری به روش موازنه کربن دی اکسید نیز به حداقل رسیده و استفاده از این روش با کمترین خطا در تحقیقات آینده میسر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۹۵ در طول یک دوره پرورش جوجه‌های گوشتی سویه راس به مدت ۴۵ روز انجام شد. هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری نرخ تهویه به روش مستقیم و غیر مستقیم (روش موازنه کربن دی اکسید) بود. نرخ تهویه با هر دو روش اندازه‌گیری شد و نتایج حاصل از دو روش محاسبه نرخ تهویه با هم مقایسه شد. میزان تلفات در مجموعه‌ی مورد مطالعه ۷/۴٪ بود که به صورت روزانه در دو نوبت صبح و بعد از ظهر از سالن خارج می‌شدند.

برای انجام این تحقیق از یک سالن مرغداری با ظرفیت

در اندازه‌گیری مستقیم نرخ تهویه می‌توان از اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری متوسط سرعت هوای عبوری از فن‌ها، سطح موثر هر فن و تعداد فن‌ها استفاده کرده و یا از منحنی‌های عملکرد فن که معمولاً بر اساس فشار ورودی و خروجی فن ترسیم شده است، استفاده نمود. استفاده از منحنی‌های عملکرد معمولاً به دلیل شرایط محیطی متغیر و استهلاک فن با خطای زیاد (در حد ۲۰ تا ۲۵ درصد) همراه است. محققان با توجه به ابزارها و موقعیت‌های متفاوت، از روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مستقیم نرخ تهویه استفاده می‌کنند.

Calvet *et al.* (2010) برای اندازه‌گیری نرخ تهویه سالن مرغداری با استفاده از یک مدار الکترونیکی، زمان‌های خاموش و روشن بودن فن‌ها را ثبت کردند و نرخ تهویه را برای هر فن، با استفاده از ضرب سرعت هوای خروجی در مساحت فن به دست آوردند. آن‌ها سرعت هوا را در ۲۴ نقطه از هر فن اندازه‌گیری کرده و برای محاسبه نرخ تهویه هر فن از آن استفاده کردند.

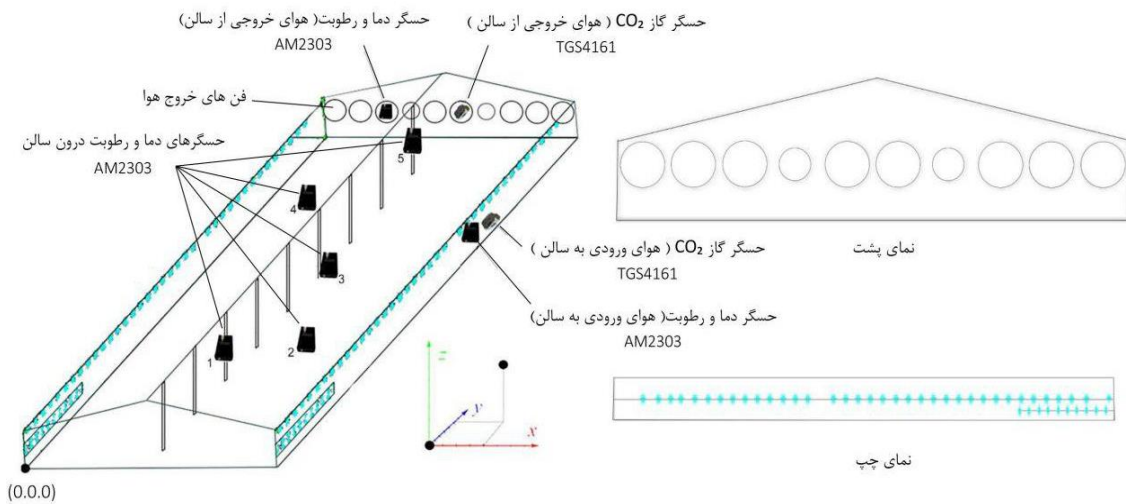
در روش اندازه‌گیری غیر مستقیم نرخ تهویه، از یک گاز پایدار، بی‌خطر و ارزان قیمت مانند مونوکسید کربن، هلیوم و SF₆ که به سهولت قابل اندازه‌گیری است برای محاسبه نرخ تهویه استفاده می‌شود. با انتشار کنترل شده این گاز درون سالن و ردیابی آن در ورودی‌ها و خروجی‌های هوا، نرخ تهویه با حل معادلات بقای جرم در حجم کنترل (فضای درون سالن) قابل محاسبه است. در برخی شرایط مانند سالن‌های پرورش طیور که انتشار گاز CO₂ به صورت طبیعی درون سالن وجود دارد، با محاسبه دقیق نرخ تولید گاز CO₂ توسط طیور درون سالن و استفاده از روابط بقای جرم درون حجم کنترل مورد مطالعه، می‌توان نرخ تهویه را به صورت غیر مستقیم محاسبه کرد (Li *et al.*, 2004). در روش موازنه CO₂ لازم است که نرخ تولید گاز CO₂ توسط طیور داخل سالن با دقت زیاد محاسبه شود و همچنین غلظت گاز در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن با دقت بالایی اندازه‌گیری شود. Pederson *et al.* (2008) نرخ تولید گاز CO₂ را بر اساس نسبت تنفسی جوجه‌های گوشتی محاسبه کرد. شکل ۱ نتایج به دست آمده از این تحقیق را نشان می‌دهد.

Li *et al.* (2004) دو روش اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم نرخ تهویه سالن پرورش مرغ گوشتی را مطالعه کرده و نتایج دو روش را با هم مقایسه کردند. در این تحقیق، دو روش اندازه‌گیری نتایج مشابهی را نشان دادند و اعداد به دست آمده برای نرخ تهویه در دو روش بسیار نزدیک به هم بودند. این پژوهش نشان داد که روش اندازه‌گیری غیر مستقیم نرخ تهویه قابل پذیرش است و می‌توان از این روش در موارد لازم به

اشتعال بودند که باعث به حداقل رسیدن اتلاف انرژی در سالن می شد. این سالن مجهز به سیستم تهویه مکانیکی نیمه اتوماتیک با ۷۴ دریچه ورودی هوا در دو طرف و ۱۰ فن با حداکثر ظرفیت مکش ۲۵۰ هزار متر مکعب در هر ساعت بود. در ابتدای سالن نیز دو پد خنک کننده هر یک به ابعاد ۱/۵ در ۱۵ متر در دو طرف سالن قرار داشت که در مواقع مورد نیاز با آب خنک شده و هوای با دمای پایین و رطوبت بالا را به سالن وارد می کرد. شکل ۲ نمایی از سالن مورد مطالعه و محل قرارگیری حسگرهای دما-رطوبت و حسگرهای دی اکسید کربن را نشان می دهد.

۱۸ هزار قطعه جوجه گوشتی استفاده شد که در یک مجموعه شامل ۶ سالن مشابه کنار یکدیگر در شهرستان سبزوار از استان خراسان رضوی قرار داشت.

شهرستان سبزوار در موقعیت جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی، ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی نسبت به نصف النهار گرینویچ و در ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. سالن مورد مطالعه دارای دیواره های عایق حرارتی از جنس ساندویچ با ابعاد ۱۵ متر در ۷۹ متر و ارتفاع ۲/۵۵ در کنار دیواره های جانبی و چهار متر در خط طولی وسط سالن بود. دیواره ها و سقف سالن دارای عایق حرارتی و غیر قابل



شکل ۲- شماتیک سالن مورد مطالعه و محل قرارگیری حسگرهای دما-رطوبت و کربن دی اکسید. (پنج حسگر اندازه گیری دما-رطوبت درون سالن، به ترتیب شماره در مختصات های (۲، ۲۴، ۰، ۷/۵)، (۱۳/۵، ۳۵، ۱/۳)، (۷/۵، ۴۷، ۰/۴۵)، (۷/۵، ۵۹، ۰/۳۵) و (۷/۵، ۷۱، ۱/۴) قرار دارند)

دما و رطوبت نسبی هوای درون سالن، هوای ورودی به سالن و غلظت گازهای آمونیاک و کربن دی اکسید در ورودی ها و خروجی های هوای سالن، در طول دوره آزمایش به صورت پیوسته اندازه گیری شد. پنج حسگر دما-رطوبت دیجیتال مدل AM2303 در نقاط مشخصی از سالن در ارتفاع های مختلف همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، قرار گرفتند و به صورت پیوسته در کل دوره هر ۱۰ ثانیه یک بار داده ها را اندازه گیری کردند و متوسط دمای هوای درون سالن به وسیله این حسگرها در هر لحظه محاسبه شد. دما و رطوبت هوای ورودی و خروجی از سالن نیز با استفاده از دو حسگر AM2303 اندازه گیری و ثبت شد. غلظت کربن دی اکسید نیز در ورودی و خروجی هوای سالن با استفاده از ماژول کربن دی اکسید با حسگر CO₂ مدل TGS4161 هر ۱۰ ثانیه اندازه گیری شد. خروجی تمامی حسگرها، قبل از ارسال به کامپیوتر مرکزی ذخیره اطلاعات، به داده های دیجیتال تبدیل شده و با کابل

به کامپیوتر مرکزی انتقال یافت. تبدیل خروجی حسگرها به داده های دیجیتالی، امکان ایجاد نوین و تغییر داده ها و بروز خطاهای احتمالی را بسیار کاهش می دهد.

فن ها، هیترها و دریچه های ورودی سالن با استفاده از حسگرهای دما و رطوبت و سیستم کنترل خودکار مجموعه مرغداری صنعتی به صورت خودکار و در موارد بحرانی به صورت دستی کنترل می شدند. اما سیستم نصب شده برای ثبت داده ها توسط محققین این پژوهش، کاملاً مستقل از سیستم کنترل مرغداری بود و فقط داده های درون سالن را ثبت و مورد تحلیل قرار داد و هیچ دخالتی در کنترل پارامترهای سالن نداشت. گرمایش سالن نیز در این پژوهش به وسیله ۴ بخاری برقی موشکی نصب شده درون سالن تامین شد. موقعیت بخاری ها در مختصات های (۳، ۸، ۱/۲)، (۱۲، ۸، ۱/۲)، (۳، ۸، ۱/۲) و (۳، ۳۹، ۱/۲) بود. استفاده از بخاری های برقی در این پژوهش، به دلیل پاک بودن هوای خروجی آن و عدم تولید کربن دی

www.SID.ir

$$CO_2 = \frac{THP}{\frac{16.18}{RQ} + 5.02} \quad (\text{رابطه ۲})$$

THP: نرخ کل تولید گرما توسط جوجه‌های گوشتی
(W) (Total Heat Production)

RQ: نسبت تنفسی جوجه‌ها ($RQ = CO_2/O_2$)

در رابطه ۲، THP طبق رابطه ۳ به نرخ تولید کربن دی اکسید و نرخ مصرف اکسیژن توسط پرنده وابسته است. رابطه ۲ با جایگذاری نسبت تنفسی RQ در رابطه ۴ به دست آمده است.
(رابطه ۳) $THP = 16.18 O_2 + 5.02 CO_2$

O_2 : نرخ مصرف اکسیژن توسط جوجه‌های گوشتی ($mL \cdot S^{-1}$)
 CO_2 : نرخ تولید کربن دی اکسید توسط جوجه‌های گوشتی ($mL \cdot S^{-1}$)

بر اساس گزارشات کمیته بین‌المللی مهندسی کشاورزی از تحقیقات موسسه علوم کشاورزی دانمارک، نرخ کل تولید گرما (THP) توسط جوجه‌های گوشتی را می‌توان با داشتن متوسط وزن جوجه‌ها (m) از رابطه ۴ به دست آورد (CIGR, 2002). لیو و همکاران نیز از این رابطه برای محاسبه نرخ تولید گرما توسط جوجه‌های گوشتی استفاده کردند (Liu *et al.*, 2016). در این پژوهش نرخ کل تولید گرما (THP) بر حسب (W/Bird) با اندازه‌گیری میانگین وزن روزانه جوجه‌ها در طول دوره با استفاده از رابطه ۴ برای ۱۸۰۰۰ جوجه‌ی مورد مطالعه به دست آمد. برای محاسبه میانگین وزن جوجه‌ها در هر روز از دوره پرورش، ۳۰ جوجه به صورت کاملاً تصادفی در همان روز از گله جدا شده و وزن گیری شدند و پس از وزن گیری این ۳۰ جوجه دوباره به گله بازگردانده شدند.

$$THP = 10.62 m^{0.75} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه ۲ برای محاسبه نسبت تنفسی RQ از نمودار شکل ۳ که از مطالعات کوه و مکلود در سال ۱۹۹۹ به دست آمده استفاده شد (Koh and Macleod, 1999).

اکسید، باعث افزایش کیفیت هوای سالن و کاهش خطاهای اندازه‌گیری نرخ تولید کربن دی اکسید درون سالن شده است. برای اندازه‌گیری مستقیم نرخ تهویه، سرعت هوای خروجی در هر یک از فن‌ها در ۲۴ نقطه از سطح فن با استفاده از بادسنج سیم داغ اندازه‌گیری شد و میانگین سرعت در کل سطح موثر خروج هوای فن‌ها محاسبه شد. برای محاسبه میانگین سرعت هوا در مقاطع مختلف فن، سطح مقطع فن به ۶ حلقه با سطح مقطع یکسان تقسیم شده و سرعت هوا در ۴ نقطه از هر حلقه از دایره اصلی اندازه‌گیری گردید. در پایان با ضرب میانگین سرعت هوا در سطح مقطع کل فن، نرخ تهویه به دست آمد.

نرخ تهویه در روش موازنه CO_2 با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Mendes *et al.*, 2014; Pederson, 2008; Xin *et al.*, 2009).

$$VR = \frac{CO_2}{[CO_2]_e - [CO_2]_i} \quad (\text{رابطه ۱})$$

CO_2 : نرخ تولید گاز CO_2 توسط جوجه‌ها بر حسب میلی لیتر بر ثانیه ($mL \cdot S^{-1}$)

VR: نرخ تهویه بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($m^3 \cdot S^{-1}$)

$[CO_2]_i$ (CO_2 inlets): غلظت گاز CO_2 در ورودی‌های

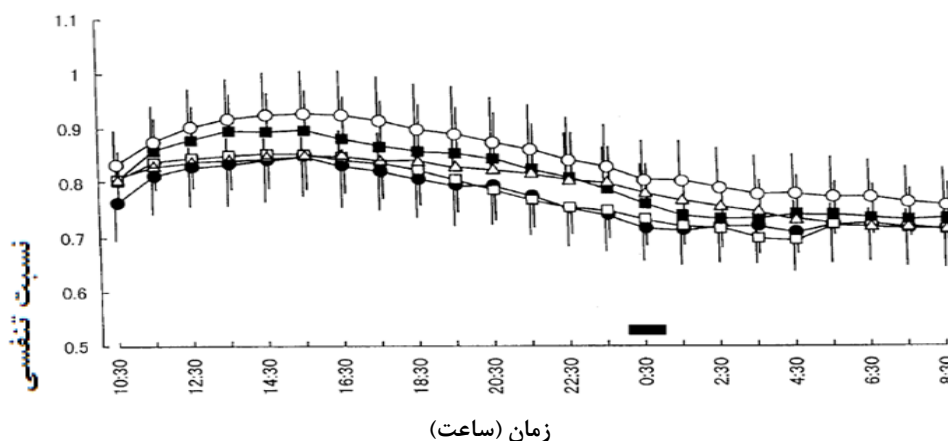
هوای سالن بر حسب ppm

$[CO_2]_e$ (CO_2 exits): غلظت گاز CO_2 در خروجی‌های

هوای سالن بر حسب ppm

در رابطه ۱ غلظت گاز CO_2 در ورودی‌ها و خروجی‌های

هوای سالن با استفاده از ماژول‌های اندازه‌گیری غلظت گاز CO_2 بر حسب ppm اندازه‌گیری شد و نرخ تولید گاز CO_2 درون سالن توسط پرنده‌ها نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Xin *et al.*, 2009).

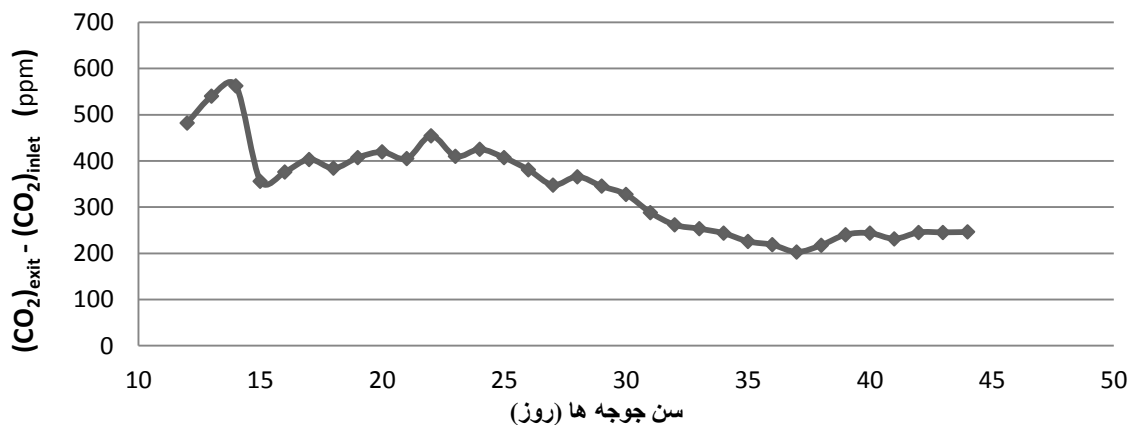


شکل ۳- نمودار نسبت تنفسی جوجه‌های گوشتی در ساعات مختلف روز در دماهای متفاوت (●) ۳۲°، (○) ۲۷°، (■) ۲۲°، (□) ۱۷°، (▲) ۱۴°، خط تیره نشان دهنده زمان خاموشی سالن است

نتایج و بحث

به دمای بالاتری نیاز داشته و هوای ورودی به سالن نیز سردتر از هوای داخل بود، تهویه سالن به صورت حداقلی انجام شده و باعث شده که با وجود کم بودن نرخ تولید گاز CO₂ توسط پرند ه ها، اختلاف غلظت گاز کربن دی اکسید در ورودی و خروجی سالن در حداکثر مقادیر خود باشد. با گذشت زمان و افزایش سن جوجه ها، دمای مورد نیاز سالن مقداری کمتر شده و نرخ تهویه افزایش می یابد. افزایش نرخ تهویه سالن در طی دوره باعث کمتر شدن غلظت گاز CO₂ در خروجی های هوای سالن شده است.

برای اندازه گیری نرخ تهویه سالن به روش موازنه کربن دی اکسید، طبق رابطه ۱ ابتدا نرخ تولید گاز CO₂ توسط جوجه ها و همچنین اختلاف غلظت گاز CO₂ هوای ورودی و خروجی سالن اندازه گیری شد. غلظت گاز CO₂ توسط حسگرها نصب شده در ورودی ها و خروجی های هوای سالن اندازه گیری شد. هوای ورودی به سالن از هوای آزاد بیرون تامین شده و غلظت گاز کربن دی اکسید در آن همواره ثابت بود. میانگین تفاوت غلظت گاز CO₂ در ورودی و خروجی هوای سالن در هر روز در نمودار شکل ۴ آورده شده است. در ابتدای دوره به این دلیل که سالن



شکل ۴- میانگین روزانه اختلاف غلظت گاز CO₂ هوای ورودی و خروجی سالن پرورش مرغ گوشتی با ظرفیت ۱۸۰۰۰ قطعه در یک دوره پرورش در ابتدای پایین

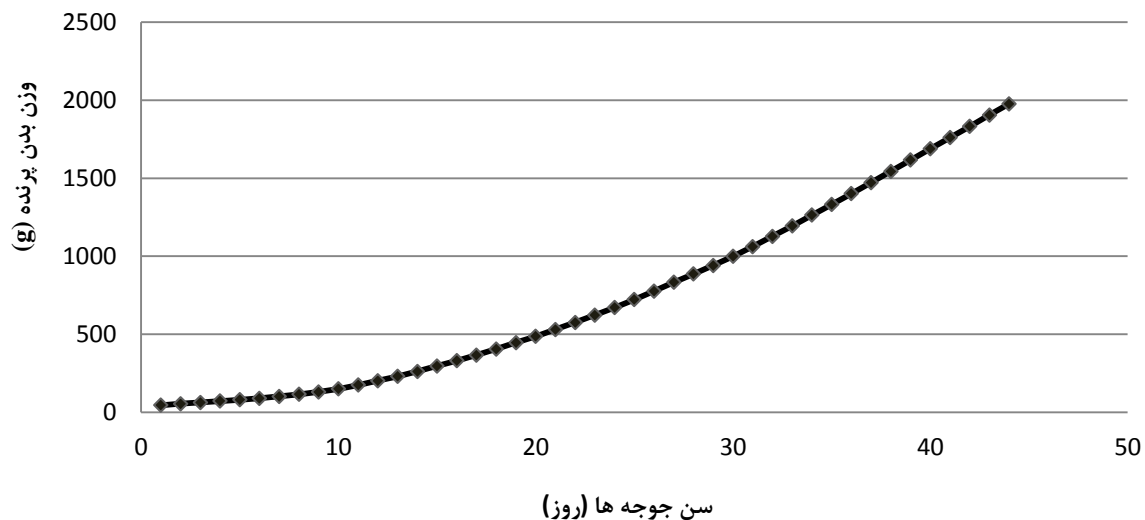
نمودار وابسته به دمای سالن است. مقادیر میانگین دما و رطوبت هوای محیط بیرون سالن و هوای درون سالن در روزهای مختلف پرورش جوجه ها به صورت پیوسته اندازه گیری شده در شکل های ۷ و ۸ آورده شده است.

کنترل پارامترهای سالن در این پژوهش به صورت صنعتی توسط مرعدار انجام شد و سیستم نصب شده توسط محققین فقط وظیفه ی ثبت کردن داده ها را بر عهده داشت. رطوبت سالن در ابتدای دوره با مه پاشی فضاهای خالی سالن به شکلی که جوجه ها خیس نشوند انجام شد. در ادامه در روزهای گرم برای بالا بردن رطوبت و کاهش دما از خنک کننده های اتوماتیک آبی که هوا را با دمای پایین و رطوبت نزدیک به رطوبت اشباع وارد سالن می کند استفاده شد. اما در پایان دوره با سرد شدن ناگهانی هوا مه پاش ها و خنک کننده ها خاموش شد و هیچ کنترلی بر رطوبت در سالن انجام نشد و همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود در پایان دوره رطوبت درون سالن بسیار وابسته به رطوبت هوای بیرون بوده است. اما دمای سالن در طول دوره پرورش با دقت بالایی به صورت اتوماتیک کنترل شد و همواره در محدوده استاندارد بود.

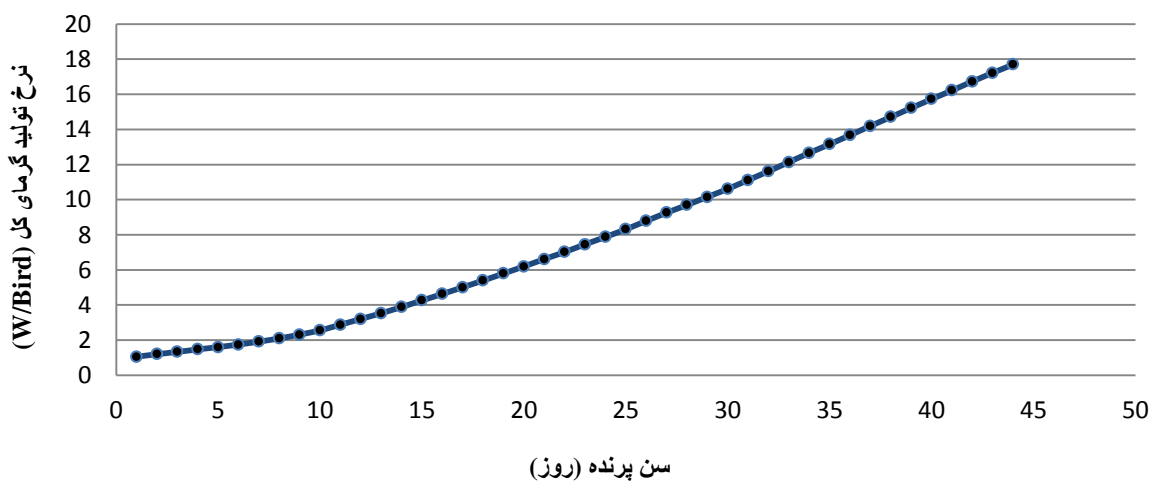
برای محاسبه نرخ تولید گاز CO₂ توسط جوجه ها، طبق رابطه ۲ ابتدا لازم است نرخ تولید گرما توسط پرند ه ها (THP) و نسبت تنفسی (RQ) را در طول دوره پرورش محاسبه شود. THP از رابطه ۴ محاسبه شده و وابسته به وزن پرند ه است. نمودار میانگین وزن جوجه ها در روزهای مختلف پرورش در شکل ۵ نشان داده شده است. میانگین نرخ تولید گرما (THP) توسط هر جوجه نیز در طول دوره محاسبه شده و در منحنی شکل ۶ آورده شده است. تغییرات میانگین وزن بدن پرند ه ها در روزهای مختلف سن پرند ه در تحقیق حاضر مشابه تا تغییرات وزن بدن جوجه های گوشتی در مطالعه Xin et al., (2009) است.

Xin et al. (2001) رابطه بین وزن بدن و نرخ تولید گرمای جوجه های گوشتی را نیز مورد بررسی قرار دادند و از منحنی های مختلفی برای بیان این رابطه استفاده کردند. نتایج به دست آمده برای رابطه بین وزن بدن و نرخ تولید گرمای جوجه های گوشتی در تحقیق آن ها منطبق با نتایج حاصل از تحقیق حاضر می باشد.

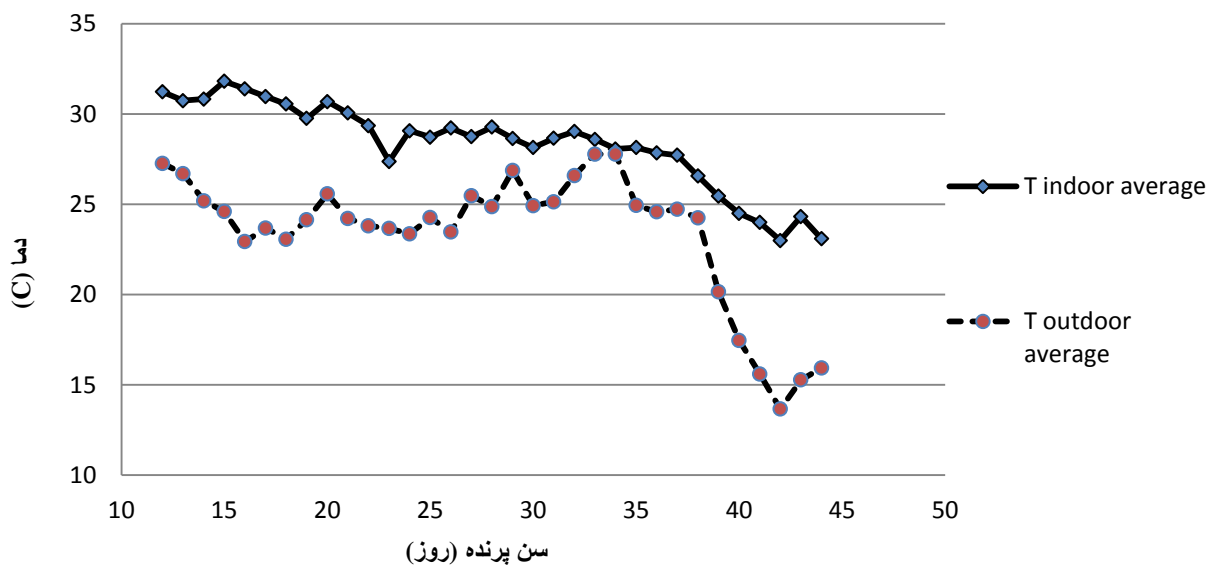
برای محاسبه RQ از نمودار شکل ۱ استفاده شد. این



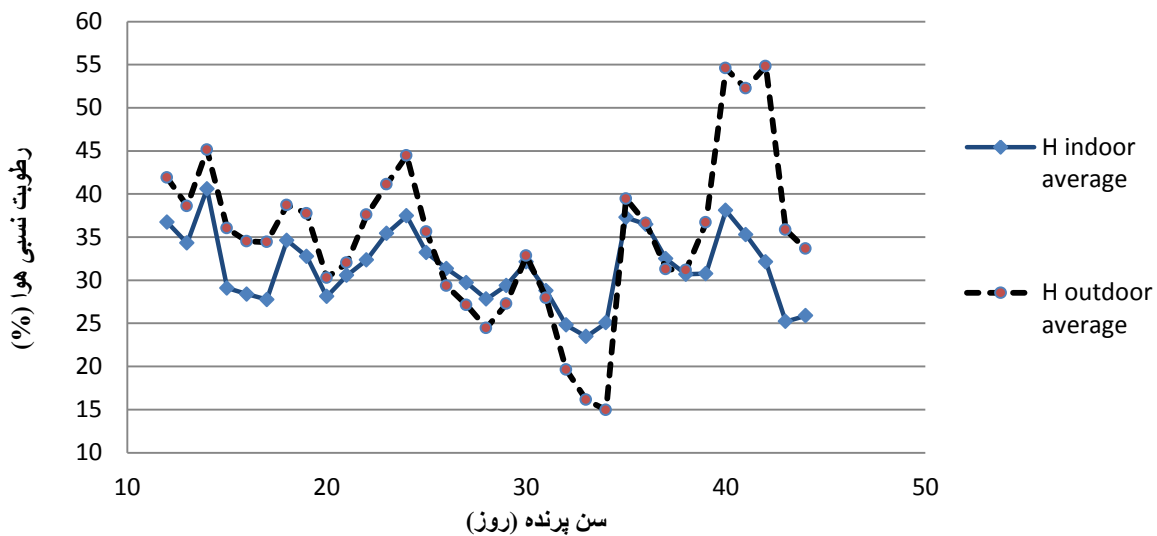
شکل ۵- میانگین وزن جوجه ها در طول دوره پرورش مرغ گوشتی در مرغداری مورد مطالعه



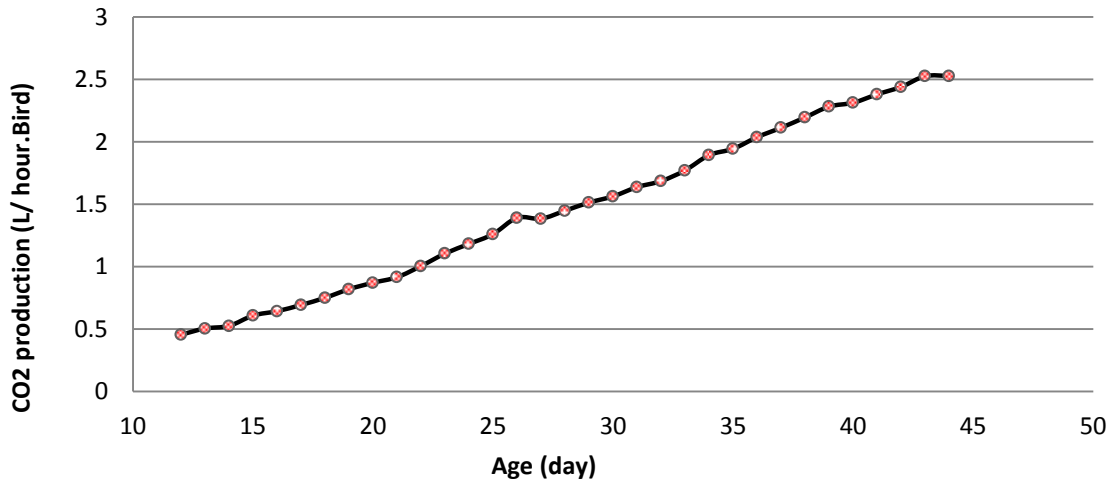
شکل ۶- میانگین نرخ تولید گرما توسط هر جوجه در طول یک دوره پرورش مرغ گوشت



شکل ۷- میانگین دمای هوای درون سالن و هوای بیرون سالن، در روزهای مختلف یک دوره پرورش مرغ گوشتی



شکل ۸- میانگین رطوبت نسبی هوای درون سالن و هوای بیرون سالن، در روزهای مختلف یک دوره پرورش مرغ گوشتی با محاسبه THP و RQ

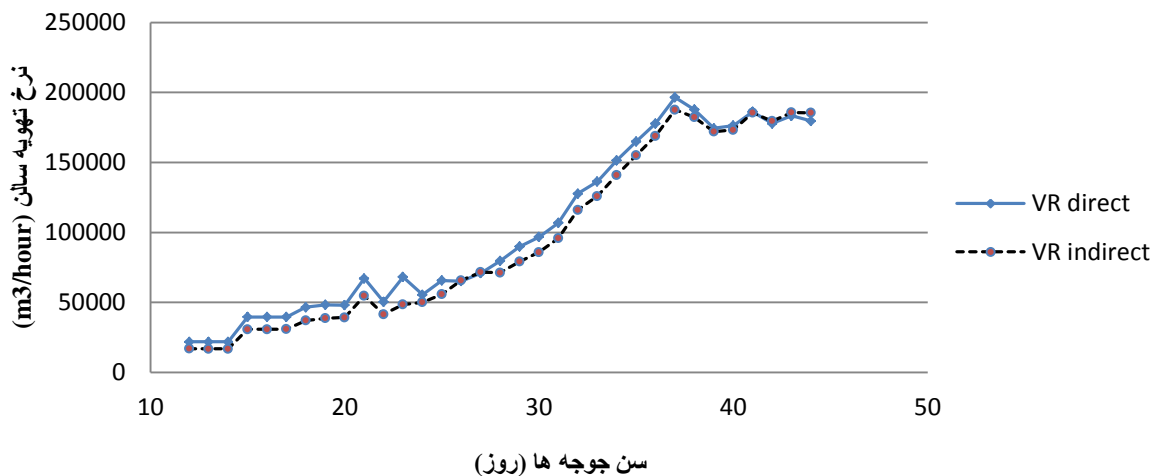


شکل ۹- نرخ تولید گاز CO₂ در هر روز برای سالن پرورش مرغ گوشتی با ظرفیت ۱۸۰۰۰ قطعه

غیر مستقیم کارایی لازم را ندارد. با گذشت زمان و افزایش نرخ تولید کربن دی اکسید توسط پرنده ها، دقت اندازه گیری افزایش یافته و در ۱۲ روزگی اختلاف دو روش اندازه گیری به ۲۲ درصد می رسد. با افزایش سن پرنده ها و افزایش نرخ تولید کربن دی اکسید درون سالن، دقت اندازه گیری به روش غیر مستقیم افزایش یافته و اختلاف دو روش در هفته های پایانی دوره به کمتر از ۲ درصد نیز کاهش می یابد. نتایج به دست آمده از این بخش از پژوهش، مشابه با نتایج تحقیق لیو و همکاران در سال ۲۰۱۶ است. در تحقیق آن ها نیز با افزایش سن جوجه های گوشتی، نرخ تولید کربن دی اکسید افزایش یافت و اختلاف نرخ تهویه اندازه گیری شده به روش مستقیم و روش موازنه کربن دی اکسید کاهش یافت (Liu et al., 2016). اختلاف اندک در نتایج به دست آمده از دو روش محاسبه نرخ تهویه می تواند بر اثر خطای ابزارهای اندازه گیری و یا خطای نمودارهای مورد استفاده برای محاسبه RQ باشد.

طبق رابطه ۱، نرخ تولید گاز CO₂ توسط جوجه ها در روزهای مختلف یک دوره پرورش مرغ گوشتی محاسبه شد. نمودار شکل ۹ میانگین تولید گاز CO₂ را در هر روز برای هر جوجه نشان می دهد.

با محاسبه تمام پارامترهای لازم در رابطه ۱، نرخ تهویه سالن به روش موازنه کربن دی اکسید از ۱۲ روزگی تا پایان دوره محاسبه شد. در این بازه زمانی با اندازه گیری مستقیم سرعت عبور هوا از فن ها و ضرب متوسط سرعت هوا در سطح مقطع موثر عبور هوا از هر فن، نرخ تهویه به صورت مستقیم نیز اندازه گیری شد. نمودار شکل ۱۰ نرخ تهویه اندازه گیری شده به روش مستقیم و غیر مستقیم را نشان می دهد. در روزهای ابتدایی که وزن جوجه ها کم است و طبق رابطه ۲ و ۴ نرخ انتشار کربن دی اکسید درون سالن بسیار اندک است، دقت اندازه گیری نرخ انتشار کربن دی اکسید درون سالن نیز کم بوده و اختلاف دو روش اندازه گیری بسیار زیاد است و روش اندازه گیری



شکل ۱۰- نرخ تهویه اندازه گیری شده به روش مستقیم و غیر مستقیم

در نتایج به دست آمده از این روش با افزایش سن پرنده و بیشتر شدن نرخ تولید کربن دی اکسید دقت محاسبات نیز افزایش یافت، تا حدی که در سن ۴ هفتگی و پس از آن، میزان خطا به کمتر از ۲ درصد کاهش یافت. همچنین در این پژوهش با استفاده از رابطه رگرسیونی خطی بین نتایج اندازه گیری مستقیم و غیر مستقیم نرخ تهویه سالن، خطای اندازه گیری غیر مستقیم نرخ تهویه بیش از ۹۰ درصد کاهش داده شد.

با توجه به روابط مورد استفاده در محاسبه نرخ تهویه به روش غیر مستقیم (روابط ۱ تا ۴)، می توان نتیجه گرفت که هر اندازه شرایط پرورش جوجه ها (دما، رطوبت، غلظت گازهای سمی CO_2 و NH_3) به شرایط استاندارد پرورش نزدیک تر باشد، نسبت های RQ و THP متوسط به دست آمده از روابط، به مقادیر واقعی سالن نزدیک تر می شود و دقت محاسبه نرخ تهویه به روش غیر مستقیم افزایش می یابد.

REFERENCES

Calvet, S., Cambra-Lopez, M., Blanes-Vidal, V., Estelles, F. & Torres A.G. (2010). Ventilation rates in mechanically-ventilated commercial poultry buildings in Southern Europe: Measurement system development and uncertainty analysis. *Biosystems Engineering*, 106, 423-432.

CIGR. (2002). International Commission of Agricultural Engineering, Section II: 4th report of working group on climatization of animal houses: Heat and moisture production at animal and house level. S. Pedersen and K. Sallvik, eds. Horsens, Denmark: *Danish Institute of Agricultural Sciences*, Research Centre Bygholm.

Kiani, Sh., Bahrami, H., Almasi, M. & Sheikh Davari, M. J. (2016). The best way to save solar energy in the greenhouse due to technical, economic and environmental factors. *Journal of Researches in*

ضریب همبستگی پیرسون نیز با استفاده از نرم افزار SPSS بین دو پارامتر نرخ تهویه محاسبه شده به روش مستقیم و غیر مستقیم مقدار ۰/۹۹ محاسبه شد و این همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشد. رابطه رگرسیونی ۵ که با استفاده از آنالیز نتایج در نرم افزار SPSS به دست آمده، رابطه بین نرخ تهویه محاسبه شده به روش موازنه کربن دی اکسید را با نرخ تهویه اندازه گیری شده به روش مستقیم نشان می دهد. این رابطه دارای ضریب همبستگی (R^2) ۰/۹۹۷ است. استفاده از این رابطه رگرسیونی می تواند خطای اندازه گیری به روش غیر مستقیم را کاهش دهد.

$$VR_{\text{indirect}} = 1.032 VR_{\text{direct}} - 3.017 \quad (\text{رابطه ۵})$$

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهد که نرخ تهویه سالن پرورش مرغ گوشتی از روش موازنه کربن دی اکسید قابل محاسبه است.

Mechanics of Agricultural Machinery, 5(2), 9-17. (In Farsi)

KOH, K. & MACLEOD, M. G. (1999). Circadian variation in heat production and respiratory quotient in growing broilers maintained at different food intakes and ambient temperatures, *British Poultry Science*. 40(3), 353-356. DOI: 10.1080/00071669987449.

Li, H., Xin, H., Liang, Y., Gates, R. S., Wheeler, E. F. & Heber, A. J. (2004). Comparison of Direct vs. Indirect Ventilation Rate Determination for Manure Belt Laying Hen Houses. *Agricultural and Biosystems Engineering Conference Proceedings and Presentations*. Iowa State University.

Liu, Z., Powers, W. & Harmon, J. D. (2016). Estimating Ventilation Rates of Animal Houses through CO2 Balance. *American Society of*

- Agricultural and Biological Engineers*, 59(1), 321-328.
- Mendes, L. B., Tinoco, I. F. F., Nico, O., osorio, R. H. & Saraz, A. O. (2014). A refined protocol for calculating air flow rate of naturally-ventilated broiler barns based on CO₂ mass balance. *Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin. DYNA*, 81(185), 189-195.
- Norton, T., Sun, D. W., Grant, J., Fallon, R. & Dodd, V. (2007). Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: a review. *Bioresource Technology*, 98, 2386-2414.
- Pashmi, M. & Moradi, S. (2010). Buildings, installations and equipment for growing of poultry. *Publishing promoting agricultural training*, Tehran, Iran. (in Farsi)
- Payandeh, Z., Kheiralipor, K. & Karimi, M. (2016). Evaluation of efficiency of broiler chickens breeding units by data envelopment analysis, Case study: Isfahan province. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 47(3), 577-585. (in Farsi)
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp M. J. W. & Aarnink, A. J. A. (2008). Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008*, Vol. X. December, 2008.
- Sadrmia, H., khojastehpour, M., Aghel, H. & Saiedi Rashk Olya, A.. (2017). Analysis of different inputs share and determination of energy Indices in broilers production in Mashhad city. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(1), 285-297. (in Farsi)
- Xin, H., Berry, I. L., Tabler, G. T. & Costello, T. A. (2001). HEAT AND MOISTURE RODUCTION OF POULTRY AND THEIR HOUSING SYSTEMS: BROILERS. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 44(6), 1851-1857.
- Xin, H., Li, H., Burns, R. T., Gates, R. S., Overhults, D. G. & Earnest. J. W. (2009). Use of CO₂ Concentration Difference or CO₂ Balance to Assess Ventilation Rate of Broiler Houses. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 52(4), 1353-1361.