DOI: 10.22059/ijbse.2018.249787.665029 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷ (ص ۶۶۸-۶۵۹)

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

MOUSAREZA BAGHANI[1], MOHAMMAD HOSSEIN AGHKHANI[2*]

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 CO_2 equilibrium method was obtained by calculating the CO_2 production rate of chicks and measuring the CO_2 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 m^3/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

* Corresponding Author's Email: aghkhani@yahoo.com

محاسبه نرخ تهویه سالن پرورش جوجه‌های گوشتی به روش موازنه کربن‌دی‌اکسید و مقایسه آن با روش اندازه گیری مستقیم

موسی الرضا باغانی[۱]، محمدحسین آق خانی *[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: ۲۵/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۵/ ۲/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۱۵/ ۲/ ۱۳۹۷)

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 CO_2 توسط جوجه‌ها و ردیابی گاز CO_2 در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن و استفاده از معادلات تعادل گاز در حجم کنترل محاسبه شد. نتایج نشان داد که تفاوت دو روش اندازه گیری 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 CO_2، 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 پررش 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 و 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 CO_2 (دی اکسید کربن)، NH_3 (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 اندازه گیری نرخ تهویه سالن وجود دارد. عمده این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اندازه‌گیری مستقیم و اندازه‌گیری غیر مستقیم طبقه بندی کرد.

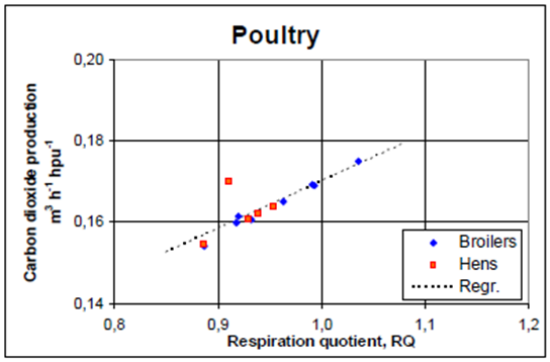
* نویسنده مسئول: aghkhani@yahoo.com

در اندازه‌گیری مستقیم نرخ تهویه می‌توان از اطلاعات به دست آمده از اندازه گیری متوسط سرعت هوای عبوری از فنها، سطح موثر هر فن و تعداد فن ها استفاده کرده و یا از منحنیهای عملکرد فن که معمولا بر اساس فشار ورودی و خروجی فن ترسیم شده است، استفاده نمود. استفاده از منحنی‌های عملکرد معمولا 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 اندازه-گیری مستقیم نرخ تهویه استفاده می‌کنند.

Calvet *et al.* (2010) برای اندازه گیری 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، بی خطر 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 ورودی ها و خروجی های هوا، نرخ تهویه با حل معادلات بقای جرم در حجم کنترل(فضای درون سالن) قابل محاسبه است. در برخی شرایط مانند سالن های پرورش طیور که انتشار گاز CO_2 به صورت طبیعی درون سالن وجود دارد، با محاسبه دقیق نرخ تولید گاز CO_2 توسط طیور درون سالن و استفاده از روابط بقای جرم درون حجم کنترل مورد مطالعه، می توان نرخ تهویه را به صورت غیر مستقیم محاسبه کرد (Li *et al.*, 2004). در روش موازنه CO_2 لازم است که نرخ تولید گاز CO_2 توسط طیور داخل سالن با دقت زیاد محاسبه شود و همچنین غلظت گاز در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن با دقت بالایی اندازه گیری شود. Pederson *et al.* (2008) نرخ تولید گاز CO_2 را بر اساس نسبت تنفسی جوجه های گوشتی محاسبه کرد. شکل ۱ نتایج به دست آمده از این تحقیق را نشان می دهد.

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 اندازه گیری 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 اندازه گیری غیر مستقیم نرخ تهویه قابل پذیرش است و می توان از این روش در موارد لازم به عنوان جایگزینی مناسب برای روش اندازه گیری مستقیم استفاده کرد.



شکل ۱- رابطه بین نرخ تولید CO_2 و نسبت تنفسی مرغ گوشتی و مرغ تخم گذار

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

در این پژوهش با محاسبه نرخ تولید گاز CO_2 حاصل از تنفس جوجه های گوشتی درون سالن مرغداری و اندازه گیری دقیق غلظت گاز CO_2 در وروردی‌ها و خروجی‌های هوای سالن، نرخ تهویه سالن در یک دوره پروش جوجه گوشتی با استفاده از روش موازنه کربن دی اکسید محاسبه شده است. همچنین با به کار گیری استاندارد ها و تجهیزات اندازه گیری دقیق، نرخ تهویه سالن به روش مستقیم نیز با دقت زیادی اندازه گیری شده است. با آنالیز آماری نتایج به دست آمده از هر دو روش و ارائه یک معادله رگرسیون خطی، خطای اندازه گیری به روش موازنه کربن دی اکسید نیز به حداقل رسیده و استفاده از این روش با کمترین خطا در تحقیقات آینده میسر می باشد.

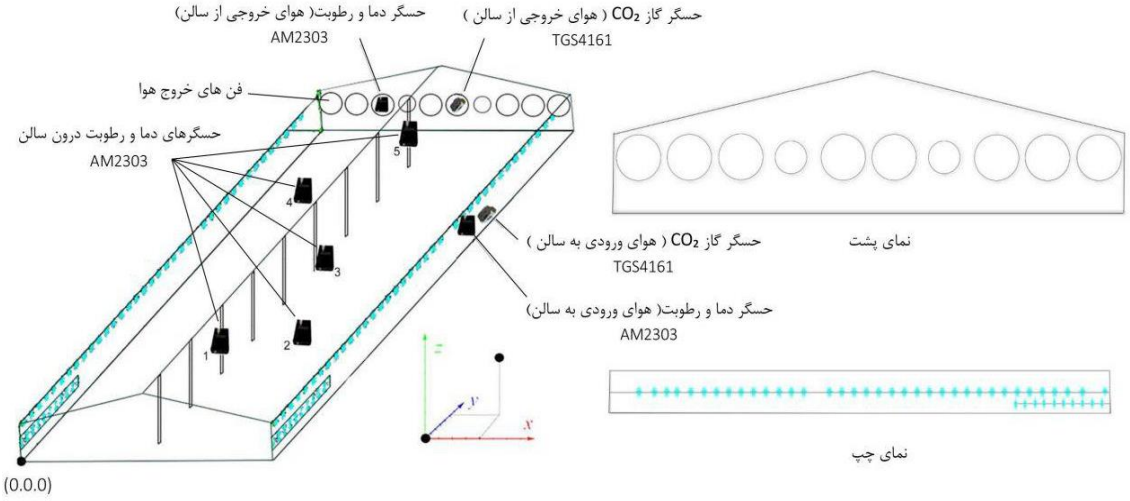
مواد و روش ها

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

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 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.



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 مختصات‌های (۲، ۲۴، ۷/۵) ، (۱/۳، ۳۵، ۱۲/۵) ، (۰/۴۵، ۴۷، ۷/۵) ، (۰/۳۵، ۵۹، ۴) و (۱/۴، ۷۱، ۷/۵) 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 اندازه‌گیری 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 داده‌ها را اندازه‌گیری 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 CO_2 مدل TGS4161 هر ۱۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. خروجی تمامی حسگرها، قبل از ارسال به کامپیوتر مرکزی ذخیره اطلاعات، به داده‌های دیجیتال تبدیل شده و با کابل RS485 به کامپیوتر مرکزی انتقال یافت. تبدیل خروجی حسگرها به داده‌های دیجیتالی، امکان ایجاد نویز و تغییر داده‌ها و بروز خطاهای احتمالی را بسیار کاهش می‌دهد.

فن ها، هیتر ها 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 داده‌ها توسط محققین این پژوهش، کاملا 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 بخاری‌ها در مختصات‌های (۱/۲، ۸، ۳) ، (۱/۲، ۸، ۱۲) ، (۱/۲، ۳۹، ۳) و (۱/۲، ۳۹، ۱۲) بود. استفاده از بخاری‌های برقی در این پژوهش، به دلیل پاک بودن هوای خروجی آن و عدم تولید کربن دی

اکسید، باعث افزایش کیفیت هوای سالن و کاهش خطاهای اندازه گیری نرخ تولید کربن دی اکسید درون سالن شده است.

برای اندازه‌گیری مستقیم نرخ تهویه، سرعت هوای خروجی در هر یک از فن ها 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 برحسب میلی لیتر بر ثانیه ($mL.S^{-1}$)

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

$[CO_2]_i$ (CO_2*inlets*): غلظت گاز CO_2 در ورودی‌های هوای سالن بر حسب ppm

$[CO_2]_e$ (CO_2exits): 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 اندازه گیری غلظت گاز CO_2 بر حسب ppm اندازه گیری شد و نرخ تولید گاز CO_2 درون سالن توسط پرنده‌ها نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Xin *et al.*, 2009).

$$CO2 = \frac{THP}{\frac{16.18}{RQ} + 5.02} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

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

RQ: نسبت تنفسی جوجه ها ($RQ = CO_2/O_2$)

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.

$$THP = 16.18\ O_2 + 5.02\ CO_2 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

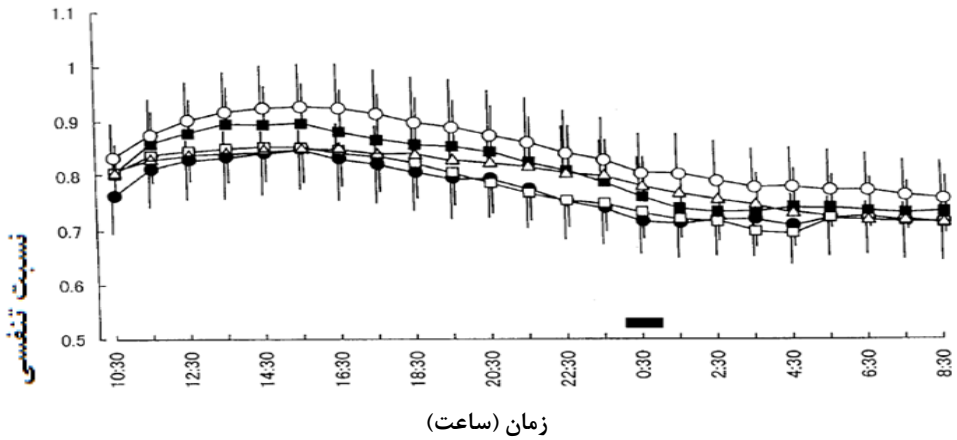
O_2: نرخ مصرف اکسیژن توسط جوجه های گوشتی ($mL\ S^{-1}$)

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

بر اساس گزارشات کمیته بین المللی 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 جوجه ها در هر روز از دوره پرورش، ۳۰ جوجه به صورت کاملا 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.

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

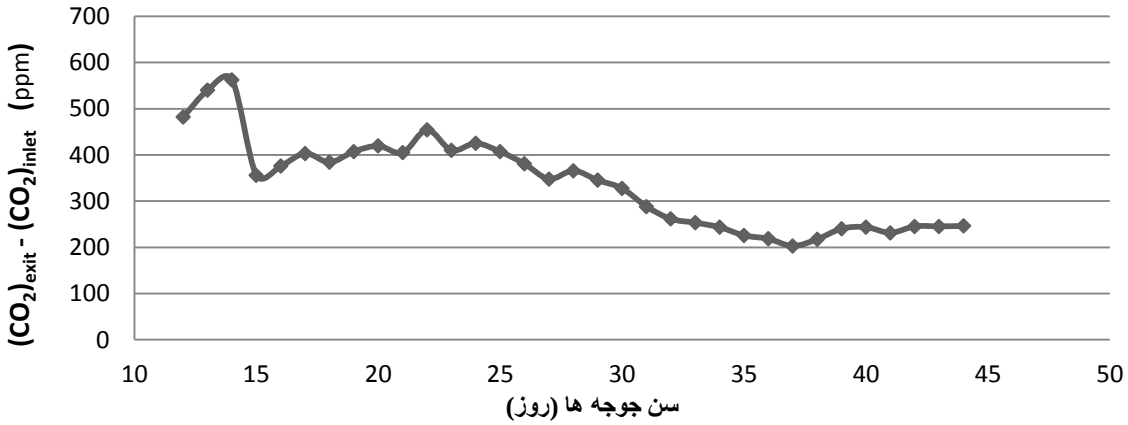
در رابطه ۲ برای محاسبه نسبت تنفسی RQ از نمودار شکل ۳ که از مطالعات کوه و مکلود در سال 1999 به دست آمده استفاده شد (Koh and Macleod, 1999).



شکل ۳- نمودار نسبت تنفسی جوجه های گوشتی در ساعات مختلف روز در دماهای متفاوت (۱۴^0 (Δ)، ۱۷^0 (□)، ۲۲^0 (■)، ۲۷^0 (○)، ۳۲^0 (●))، خط تیره نشان دهنده زمان خاموشی سالن است

نتایج و بحث

برای اندازه‌گیری نرخ تهویه سالن به روش موازنه کربن دی اکسید، طبق رابطه ۱ ابتدا نرخ تولید گاز CO_2 توسط جوجه‌ها و همچنین اختلاف غلظت گاز CO_2 هوای ورودی و خروجی سالن اندازه گیری شد.غلظت گاز CO_2 توسط حسگرها نصب شده در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن اندازه‌گیری 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 CO_2 در ورودی و خروجی هوای سالن در هر روز در نمودار شکل ۴ آورده شده است. در ابتدای دوره به این دلیل که سالن 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 CO_2 توسط پرنده ها، اختلاف غلظت گاز کربن دی اکسید در ورودی و خروجی سالن در حداکثر مقادیر خود باشد. با گذشت زمان و افزایش سن جوجه‌ها، 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 CO_2 در خروجی های هوای سالن شده است.



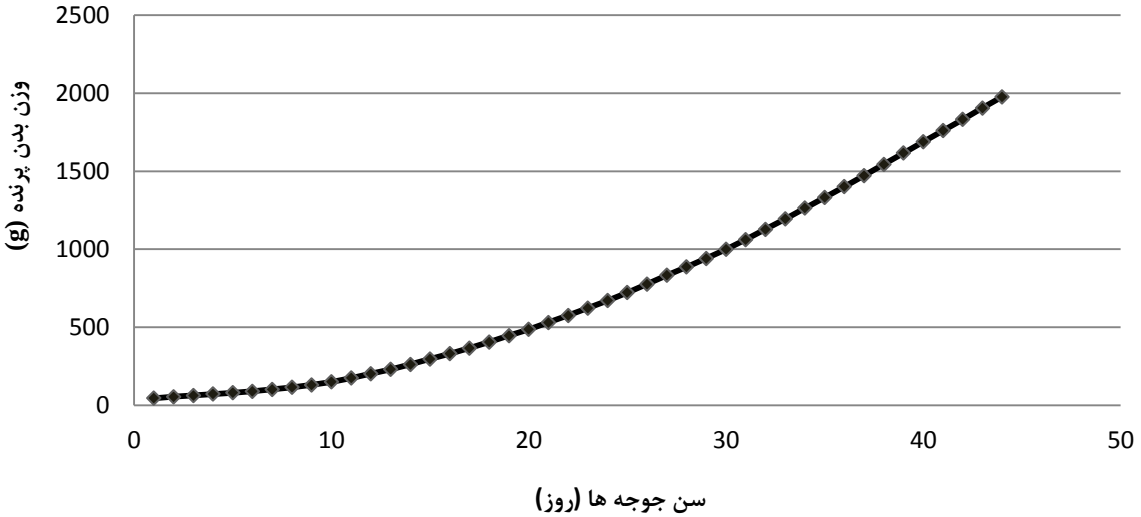
شکل ۴- میانگین روزانه اختلاف غلظت گاز CO_2 هوای ورودی و خروجی سالن پروش مرغ گوشتی با ظرفیت ۱۸۰۰۰ قطعه در یک دوره پرورش در ابتدای پاییز

برای محاسبه نرخ تولید گاز CO_2 توسط جوجه‌ها، طبق رابطه ۲ ابتدا لازم است نرخ تولید گرما توسط پرنده‌ها (THP) و نسبت تنفسی (RQ) را در طول دوره پرورش محاسبه شود. THP از رابطه ۴ محاسبه شده و وابسته به وزن پرنده است. نمودار میانگین وزن جوجه‌ها 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 پرنده‌ها در روزهای مختلف سن پرنده در تحقیق حاضر مشابه تا تغییرات وزن بدن جوجه‌های گوشتی در مطالعه Xin et al., (2009) است.

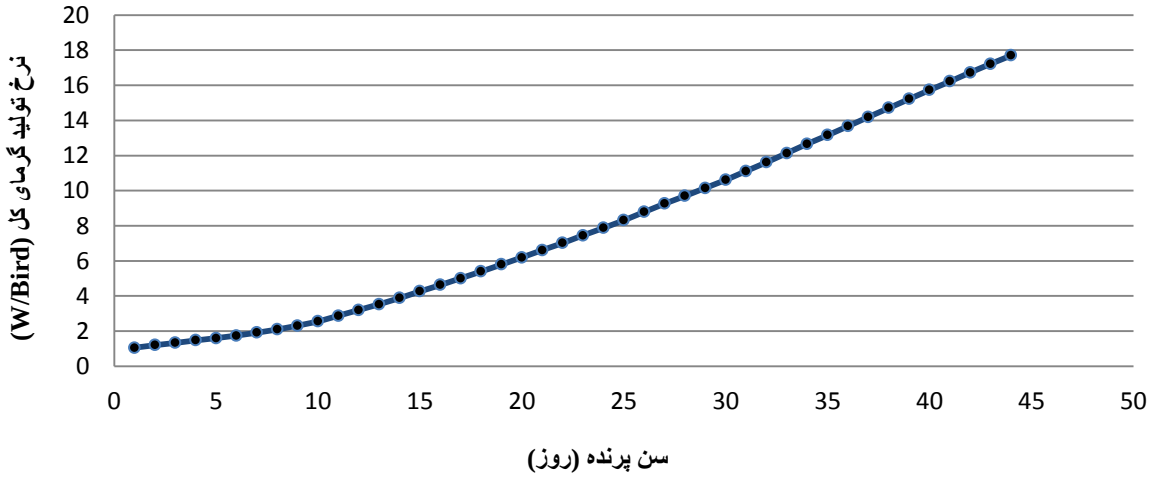
Xin *et al.* (2001) رابطه بین وزن بدن و نرخ تولید گرمای جوجه‌های گوشتی را نیز مورد بررسی قرار دادند و از منحنی‌های مختلفی برای بیان این رابطه استفاده کردند. نتایج به دست آمده برای رابطه بین وزن بدن و نرخ تولید گرمای جوجه‌های گوشتی در تحقیق آن‌ها منطبق با نتایج حاصل از تحقیق حاضر می باشد.

برای محاسبه RQ از نمودار شکل ۱ استفاده شد. این نمودار وابسته به دمای سالن است. مقادیر میانگین دما و رطوبت هوای محیط بیرون سالن و هوای درون سالن در روزهای مختلف پرورش جوجه‌ها به صورت پیوسته اندازه گیری شده در شکل های ۷ و ۸ آورده شده است.

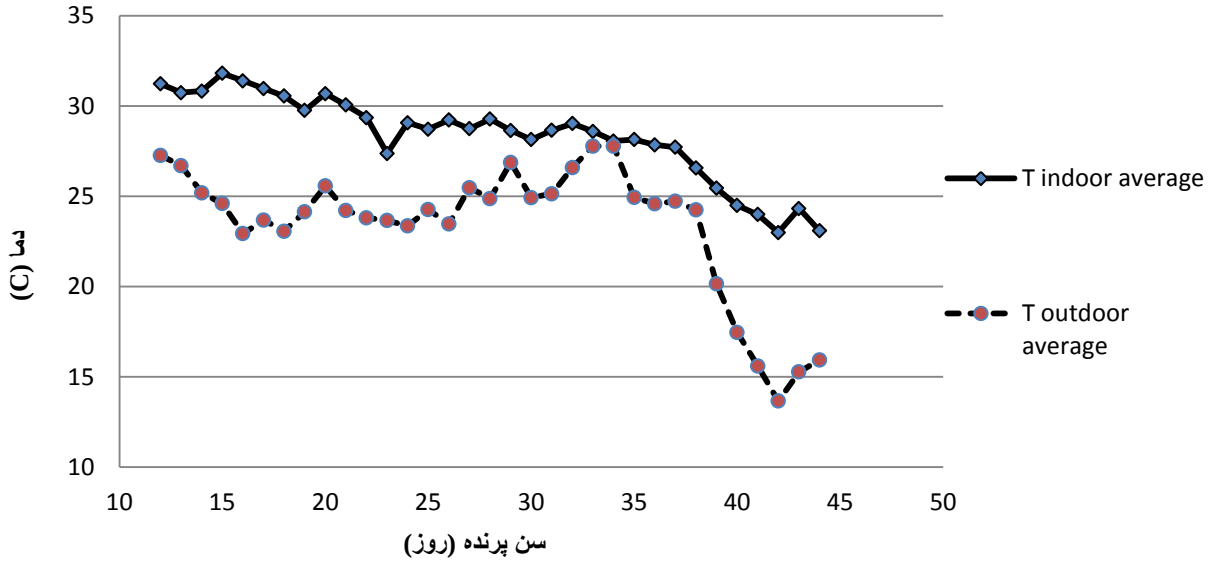
کنترل پارامترهای سالن در این پژوهش به صورت صنعتی توسط مرغدار انجام شد و سیستم نصب شده توسط محققین فقط وظیفه‌ی ثبت کردن داده ها را بر عهده داشت. رطوبت سالن در ابتدای دوره با مه پاشی فضاهای خالی سالن به شکلی که جوجه ها خیس نشوند انجام شد. در ادامه در روزهای گرم برای بالا بردن رطوبت و کاهش دما از خنک کننده‌های 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 خننک کننده‌ها 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.



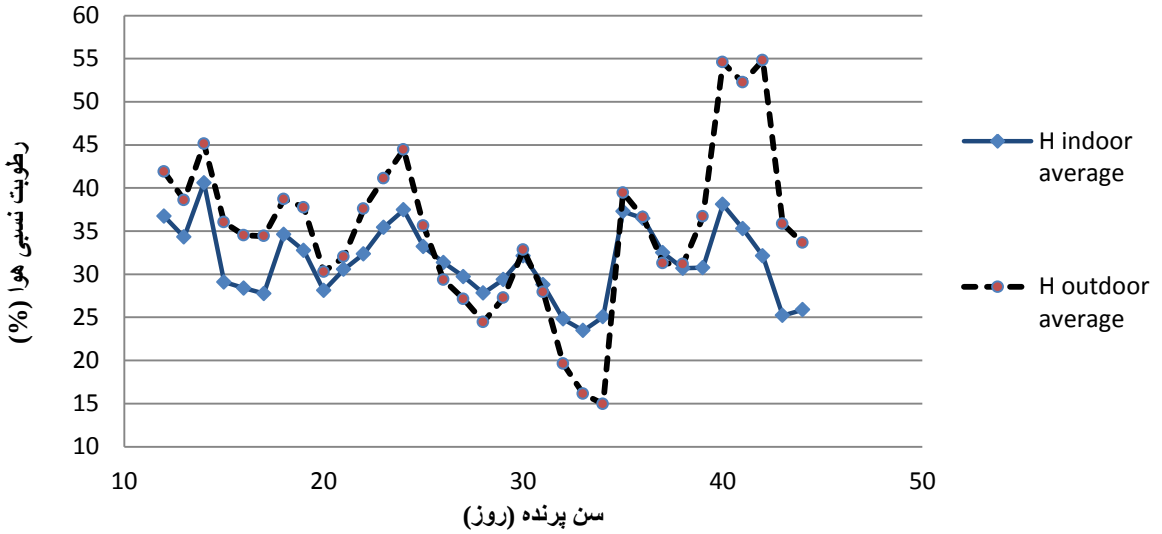
شکل ۵- میانگین وزن جوجه ها در طول دوره پرورش مرغ گوشتی در مرغداری مورد مطالعه



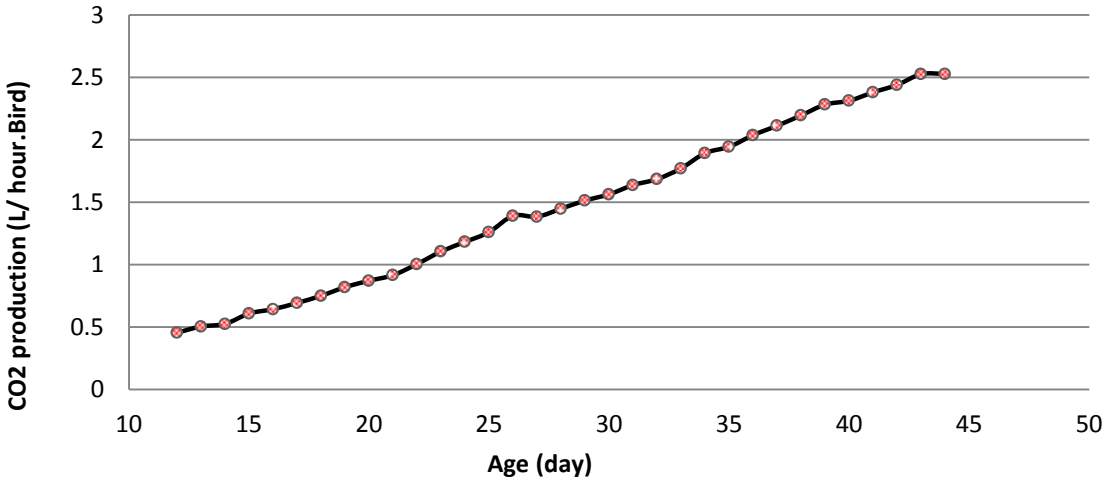
شکل ۶- میانگین نرخ تولید گرما توسط هر جوجه در طول یک دوره پرورش مرغ گوشت



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



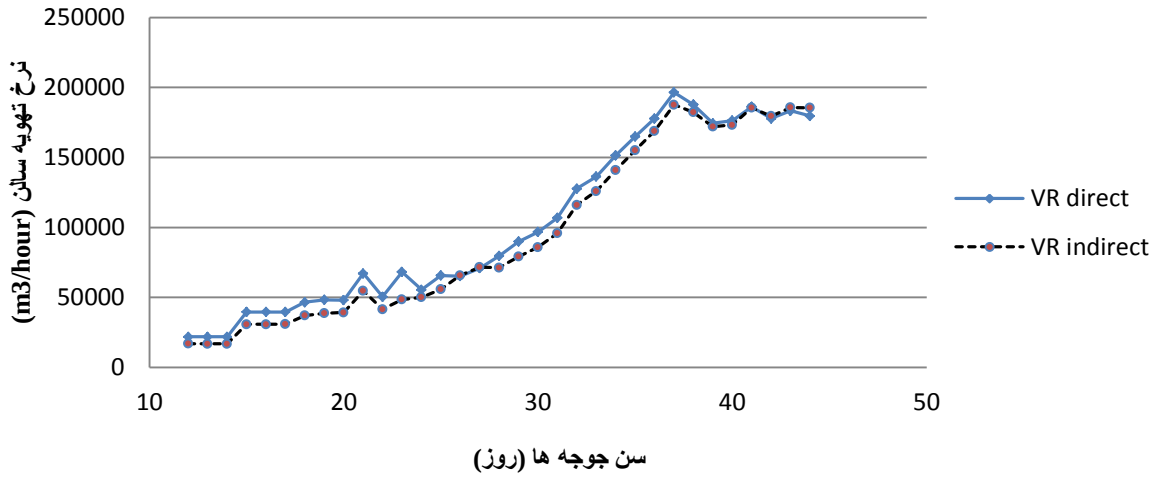
شکل ۸- میانگین رطوبت نسبی هوای درون سالن و هوای بیرون سالن، در روزهای مختلف یک دوره پرورش مرغ گوشتی**با محاسبه** THP و RQ



شکل ۹- نرخ تولید گاز CO_2 در هر روز برای سالن پرورش مرغ گوشتی با ظرفیت ۱۸۰۰۰ قطعه

طبق رابطه ۱، نرخ تولید گاز CO_2 توسط جوجه‌ها در روزهای مختلف یک دوره پرورش مرغ گوشتی محاسبه شد. نمودار شکل ۹ میانگین تولید گاز CO_2 را در هر روز برای هر جوجه نشان می‌دهد.

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 اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری شد. نمودار شکل ۱۰ نرخ تهویه اندازه‌گیری شده به روش مستقیم و غیر مستقیم را نشان می‌دهد. در روزهای ابتدایی که وزن جوجه ها کم است و طبق رابطه ۲ و ۴ نرخ انتشار کربن‌دی‌اکسید درون سالن بسیار اندک است، دقت اندازه گیری نرخ انتشار کربن دی اکسید درون سالن نیز کم بوده و اختلاف دو روش اندازه‌گیری بسیار زیاد است و روش اندازه‌گیری غیر مستقیم کارآیی لازم را ندارد. با گذشت زمان و افزایش نرخ تولید کربن دی اکسید توسط پرنده ها، دقت اندازه‌گیری افزایش یافته و در ۱۲ روزگی اختلاف دو روش اندازه‌گیری به ۲۲ درصد می‌رسد. با افزایش سن پرنده‌ها و افزایش نرخ تولید کربن دی اکسید درون سالن، دقت اندازه‌گیری به روش غیر مستقیم افزایش یافته و اختلاف دو روش در هفته های پایانی دوره به کمتر از ۲ درصد نیز کاهش می‌یابد. 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 جوجه‌های گوشتی، نرخ تولید کربن دی اکسید افزایش یافت و اختلاف نرخ تهویه اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری و یا خطای نمودارهای مورد استفاده برای محاسبه RQ باشد.



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

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 می‌باشد. 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 می‌دهد. 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.

$$VR_{indirect} = 1.032\ VR_{direct} - 3.017$$ (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. 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 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 CO_2mass 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.

Sadrnia, 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.