



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Modifying the air flow pattern in cattle barns of Salmas city through architectural intervention to improve the ventilation*

Omid Rahaei^{1,**}, Mehri Barehyun^{2,}¹ Assistant Professor, School of Architecture and Urban Design, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.² M.A. Student in Architecture, Department of Architecture, Savadkuh Branch, Islamic Azad University, Savadkuh, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/11/05
 Revised 2023/01/06
 Accepted 2023/03/03
 Available Online 2023/08/06

Keywords:

Ventilation
 Cattle Breeding
 Barn Architecture
 Indoor Air Flow

Use your device to scan
 and read the article online



Number of References

50



Number of Figures

9



Number of Tables

2

© 2023, JIAU. All rights reserved.

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Observations show that most of the cattle barns built in Iran are in the form of sheds, and during their design phase, limited consideration is given to ventilation conditions, despite the significant need for it, as well as the air circulation patterns within the barns. This oversight leads to numerous issues in the field, with the well-being of the animals subsequently affected. The main goal of the article is to improve the ventilation of in cattle barns, through architecture, in such a way that the optimal and uniform air flow is established throughout the environment, at the level where animals live. According to the nature of the subject, the current research is an interdisciplinary research and a hybrid research method is applied using experimental research strategies, simulation and case study. In the first stage, after identifying the statistical population (cattle barns in the cold region), their current situation was investigated empirically, and after scrutinizing the problem and finding the research variables, the initial plan (case sample) was proposed and modeled. The desired model was first meshed with Gambit, subsequently undergoing simulation via the FLUENT software employing the CFD methodology. Adjustments were introduced to its architectural design, followed by the analysis and formulation of conclusions. The results show that, by making minimal architectural changes to the barn and the openings, it is feasible to enhance the airflow pattern within it. This can effectively establish internal air circulation, diminish temperature disparities among various barn sections, minimize temperature fluctuations, and lower energy consumption.

METHODS: Considering its interdisciplinary nature, the research employs a hybrid approach that combines experimental research, simulation, and case study strategies. The research encompasses all cattle barns in cold climates as the statistical population. The chosen case study focuses on a cattle barn designed for approximately 250 cows in the city of Salmas. The research findings indicate that enhancing the architectural layout and positioning of openings, along with their primary composition, can lead to improved ventilation in cattle barns and a more uniform airflow within them. The research utilizes numerical simulation, specifically in the case of a Salmas city cattle barn, validated previously through Olsen's experimental methods (Rahaei, 2014, 2013). The validation of this method is well-established and is based on Nagano's (1990) validated technique, utilizing a zero-equation method and model. The numerical calculations are conducted using the computational fluid dynamics method, employing the Gambit preprocessor for meshing and Fluent software for network analysis.

FINDINGS: Considering the research goal of enhancing airflow and subsequently ventilation in cattle barns in climates similar to Salmas city (the cold climate), various scenarios of a common case study were examined in a two-dimensional manner. Initially, longitudinal sections were analyzed, followed by transverse sections of the cattle barn. In all scenarios, the energy equation was activated. The optimal condition involves a smooth and favorable inward airflow through side windows. Afterward, this airflow undergoes

<https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.368528.2003>

OPEN ACCESS

* This article is derived from the second author's master thesis entitled "Modifying the air flow pattern inside the cattle farms of Salmas city through intervention in architecture with the aim of improving the ventilation situation", supervised by the first author, at Islamic Azad University Savadkuh Branch.

** Corresponding Author:

Email: o.rahaei@sru.ac.ir

Phone: +98(912)3192062

Extended ABSTRACT

conditioning as it passes through the radiators installed in the windows and, if necessary, proper dehumidification is achieved with the assistance of mist sprinklers. Minimal energy is drawn from the lower part of the area occupied by the animals and is expelled through the roof opening.

CONCLUSION: Based on the above-mentioned resources, the following are suggested in the case of longitudinal and transverse ventilation of cold climate cattle farms:

1. Unpredicted entry of outside air into the interior of cattle barns should be strictly avoided.
2. If the entire space of the barn is used, the use of a longitudinal one-way ventilation mechanism is required, while all the openings are closed. It is recommended to incorporate a temperature control source, such as a radiator, positioned at a height of 3 meters above the main floor level, equipped with both hot and cold water supply, at one side of the barn. Simultaneously, a suction device (jet fan) should be installed at floor level on the opposite side, expelling air outward. In this setup, fresh outdoor air, having passed through the radiator, becomes conducive and enters the enclosure. Following even distribution of this air to achieve a desirable temperature within the environment, it exits through the suction system located on the opposite side. Additionally, a pressure regulating valve should be installed at the lower level of the side housing the radiator, which can be closed during colder seasons.
3. If it is possible to change the interior space of the cattle barn, lateral ventilation is suggested from both sides.
4. In general, transverse ventilation with a roof valve is more efficient than ventilation along the cattle barn.

HIGHLIGHTS:

- Position of openings and blowers and suckers in the inner architecture of Salmas city dairy farms with the aim of improving the ventilating condition.
- Combined research method (Experimental observations, simulation and case study); using Gambit and Fluent softwares for simulations with CFD method: intervention in simulations.
- Unifying the indoor airflow inside the sheds by making limited interventions in the architecture.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-forprofit sectors.

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Rahaei, O.; Barehyun, M., (2023). Modifying the air flow pattern in cattle barns of Salmas city through architectural intervention to improve the ventilation. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 14(1): 311-326.



<https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.368528.2003>



https://www.isau.ir/article_179337.html



اصلاح الگوی جریان هوای داخل گاوداری‌های شهر سلماس از طریق مداخله در معماری با هدف بهبود وضعیت تهویه *

امید رهایی^{۱*}، مهری بره‌یون^۲

۱. استادیار، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران.

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخ ارسال ۱۴۰۱/۰۸/۱۴	مشاهدات نشان می‌دهند که عمده ی گاوداری‌های ساخته شده در ایران به صورت سوله بوده و در فرایند طراحی آن‌ها، چندان توجهی به وضعیت تهویه (با وجود نیاز فراوان) و الگوی گردش جریان هوای داخل سوله ها نمی‌شود و این امر مشکلات فراوانی در زمینه آسایش دام‌ها بدنبال خواهد داشت. هدف اصلی مقاله، بهبود وضعیت تهویه داخلی سوله‌های نگهداری گاو، از طریق معماری است به نحوی که جریان هوای مطلوب و یکنواختی در سراسر محیط گاوداری در تراز دام‌ها برقرار شود. با توجه به ماهیت موضوع، پژوهش حاضر یک پژوهش میان رشته‌ای بوده و روش تحقیق آن ترکیبی است و راهبردهای تحقیق تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی را مورد استفاده قرار می‌دهد. در مرحله اول پس از مشخص شدن جامعه آماری (گاوداری‌های منطقه سرد)، وضعیت موجود آن‌ها به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت و پس از اثبات مسئله و یافتن متغیرهای تحقیق، اقدام به پیشنهاد طرح اولیه (نمونه موردی) و مدل نمودن آن شد. مدل موردنظر، ابتدا با پیش پردازشگر گامبیت (Gambit) شبکه‌بندی و سپس با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت (Fluent) به روش CFD شبیه‌سازی گردید و مداخلاتی در معماری آن صورت گرفت و سپس اقدام به تحلیل و نتیجه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهند که با مداخلاتی مختصر در معماری سوله و موقعیت بازشوها، می‌توان الگوی جریان هوای داخل آن را چنان بهبود داد تا ضمن برقراری موثر جریان هوای داخلی و کاهش اختلاف دمای میان نقاط مختلف سوله و نیز کاهش نوسانات دمایی، مصرف انرژی را نیز کاهش داد.
تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۰/۱۶	
تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۲/۱۲	
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۲/۰۵/۱۵	
واژگان کلیدی	
تهویه	
گاوداری	
معماری سوله	
جریان هوای داخل	
	نکات شاخص
	- موقعیت بازشوها، دمنده‌ها و مکنده‌ها در معماری فضای گاوداری‌های شهر سلماس با هدف بهبود وضعیت تهویه.
	- روش تحقیق ترکیبی (مشاهدات تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی)؛ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای گمبیت و فلوئنت و با روش CFD و مداخله در شبیه‌سازی‌ها.
	- یکنواخت‌سازی جریان هوای داخل سوله‌ها با انجام مداخلات محدود در معماری.

نحوه ارجاع به مقاله

رهایی، امید و بره‌یون، مهری. (۱۴۰۲). اصلاح الگوی جریان هوای داخل گاوداری‌های شهر سلماس از طریق مداخله در معماری با هدف بهبود وضعیت تهویه، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۴(۱)، ۳۱۱-۳۲۶.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم با عنوان «طراحی مرکز دامپروری بخش شهرستان سلماس با هدف ارتقای کیفیت تهویه طبیعی در فضای دامداری» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده اول در دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه انجام گرفته است.

** نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۳۱۹۲۰۶۲

پست الکترونیک: o.rahaei@sru.ac.ir

مقدمه

دامداری شاخه‌ای از کشاورزی است که با پرورش دام سروکار دارد و گاوداری نوعی دامپروری است که گونه‌های گاوی در آن پرورش می‌یابند و از چراگاه‌های تازه و منابع آب طبیعی استفاده می‌شود (Masoudi, 2004). در بازخوانی ادبیات مربوط به تهویه طبیعی مورد استفاده برای دامپروری‌ها، مشخص می‌شود که بسیاری از مطالعات و تحقیقات متمرکز بر انتشار آمونیاک، متان و بو از بنای دامپروری هستند. اما مشکل اساسی، این است که تهویه موثری در فضای داخلی گاوداری‌ها وجود ندارد و اختلاف دمایی زیاد در نقاط مختلف سوله باعث می‌شود جریان هوای غیریکنواخت و غیرهمگنی بوجود آید، لذا در برخی نقاط سوله، دام‌ها احساس گرما یا سرمای بسیار بیشتری نسبت به دام‌های دیگر می‌کنند. لازم به ذکر است که استاندارد مشخصی در خصوص میزان تعویض هوای داخل سوله‌های گاوداری وجود ندارد، اما وجود هوای تازه و اکسیژن کافی الزامی می‌باشد. همچنین دمای استاندارد برای گاوها بین ۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس است که بسته به نوع گاو، این آستانه می‌تواند از ۱۵- تا ۳۵ نیز متغیر باشد، اما اختلاف دمایی زیاد در گاوداری‌ها به هیچ وجه توصیه نمی‌شود (Reshnotalai et al., 2013). به منظور کاهش اختلاف دمایی فضای داخل، استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع ناگزیر خواهد بود (En-ergy Information Administration, 1995). اما باز هم اختلاف دمایی شدید در فضای داخلی محسوس است که می‌تواند موجب تلف شدن دام شود و مثلاً دام‌هایی که نزدیک دمنده‌های هوای سرد هستند، سرما می‌خورند در حالی که سایر دام‌ها گرمای زیادی تحمل می‌کنند.

تهویه طبیعی یک جایگزین کارآمد در ساختمان‌ها به منظور دستیابی به آسایش حرارتی مناسب به حساب می‌آید (Busch, 1992) و می‌تواند هزینه مصرف انرژی یک ساختمان را تا ۴۰ درصد کاهش دهد (Energy Consumption Guide 19, 1993). اما همیشه فعال نیست و مشکلات متعددی دارد. برای رفع مشکل، یک تهویه ترکیبی می‌تواند پیشنهاد شود (Rahaei, 2013). به نظر می‌رسد که با مداخله در ساختار کالبدی عناصر معماری و ترکیب بازشوها بتوان ضمن اصلاح الگوی جریان هوای داخل، همدمای لازم را در نقاط مختلف سالن نگهداری دام‌ها بوجود آورد. در این تحقیق یکسان‌سازی هوشمندانه دمای هوای داخل از دو جهت مهم است: ۱) به جهت متعادل‌سازی دمای داخل گاوداری و یکسان‌سازی آن به منظور سلامت دام‌ها با توجه به شرایط آب‌وهوایی اقلیم منطقه، ۲) به جهت کاهش مصرف انرژی.

لذا پرسش اصلی این پژوهش این است که چگونه می‌توان فضای داخل سالن گاوداری را طوری طراحی نمود که با استفاده از یک روش تهویه

ترکیبی و اصلاح موقعیت بازشوها، اولاً الگوی جریان هوای داخل سالن، چنان بهبود یابد که موجب کاهش اختلاف دمایی نقاط داخلی گاوداری و تامین دمای مطلوب دام شود و ثانیاً کاهش مصرف انرژی را بدنبال داشته باشد؟

لذا هدف از انجام این پژوهش، اصلاح الگوی جریان هوای داخل به منظور کاهش اختلاف دمایی نقاط مختلف گاوداری و یکنواخت‌سازی جریان هوای داخل است که از طریق بهره‌گیری از یک روش ترکیبی تهویه و نیز مداخله در متغیرهای معماری و ترکیب بازشوها امکان پذیر خواهد بود.

پیشینه پژوهش

مروری بر نوشته‌ها و تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که در اواخر دهه ۱۹۳۰ علاقه فراوانی در زمینه مهندسی تهویه پدید آمد (Burgess, 1995; ACGIH, 2011). آگاهی از جریانات هوای داخلی در محیط‌های بسته به سه دلیل قابل توجه است: آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی ساختمان (Amidpoor, 2009). تهویه عبارت است از وارد کردن هوای بیرون به فضای داخلی بصورت عمدی که خود به دو بخش تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی تقسیم می‌شود. تهویه مکانیکی که شامل راندن هوا به داخل توسط فن و دستگاه‌های تاسیساتی است در حالی که تهویه طبیعی بدون بهره گرفتن از دستگاه‌های تاسیساتی و صرف انرژی فسیلی تعویض هوا صورت می‌گیرد (Reshnotalai et al., 2013). تهویه طبیعی به جای سیستم‌های مکانیکی از نیروهای طبیعی استفاده می‌کند تا از جریان هوا برای بهبود کیفیت هوای داخلی، آسایش حرارتی ساکنان و کاهش مصرف انرژی بکار ببرد. دو نیروی محرک اساسی برای تهویه طبیعی وجود دارد، شناور بودن حرارتی و فشار باد. این دو نیروی محرک معمولاً بطور همزمان اتفاق می‌افتند، با این وجود فشار باد نیروی محرک غالب در ساختمان‌های با تهویه متقاطع است، در حالی که شناور حرارتی در ساختمان‌های با تهویه یک طرفه حاکم است. براساس شکل و چیدمان ساختمان‌ها، تهویه طبیعی را می‌توان به عنوان تهویه تک منطقه‌ای و تهویه چندمنطقه‌ای، طبقه‌بندی کرد. تهویه منطقه یک ساختمان، کل ساختمان را به عنوان یک منطقه منفرد و کاملاً مخلوط و بدون پارتیشن‌های داخلی فرض می‌کند، در حالی که تهویه چند منطقه‌ای الگوهای جریان هوا در ساختمان را غیریکنواخت می‌داند و از این رو ساختمان را به چندین منطقه تقسیم می‌کند (Rahaei, 2019). در مناطقی که در آن انرژی محدود و یا کمیاب است، تهویه مطبوع باید با تهویه طبیعی جایگزین یا ترکیب شود (Hassan et al., 2007). امروزه استفاده از روش‌های تهویه طبیعی در ساختمان توصیه می‌شود. باز شو یکی از مهمترین عناصر ساختمان است که تأثیر زیادی بر



می‌شود، حداقل تعویض هوا ۵ دقیقه، انتقالی ۲ دقیقه و تونلی کمتر از ۱ دقیقه صورت می‌گیرد (Sadrmnia, 2008). ولی نکته حائز اهمیت این است که هنگام تهویه فضای داخل دامداری، جریان هوا باید در تمامی نقاط سالن یکنواخت و همیشه به یک سمت باشد (Bagheri, 2013). هوای ورودی به سوله‌های دام، باید به میزان ناچیزی از هوای خروجی کمتر باشد تا در سالن فشار منفی ایجاد شود. یک قاعده کلی وجود دارد که برای تامین هر ۱۱۳٪ مترمکعب هوای خروجی در دقیقه با هواکش، حدود ۶/۵ سانتی متر مربع دریچه یا پنجره ورود هوا در نظر می‌گیرند. این عمل باعث ایجاد جریان هوا و خشک شدن بستر و کاهش تولید گاز آمونیاک می‌شود (Sadrmnia, 2008). مرغ‌داری با منافذ زیاد نمی‌تواند به خوبی تهویه شود. تمام هوا باید فقط از ورودی‌های هوا وارد گردد. همیشه هوای سرد به سمت پایین جریان می‌یابد، بنابراین نشت هوای سرد بیرون مرغ‌داری از راه ترک‌ها، حفره‌ها و دیگر ورودی‌های ناخواسته به سمت کف جریان می‌یابد. این باعث میعان، ایجاد بستر خیس، تولید آمونیاک و عملکرد ضعیف پرندگان می‌شود (Bagheri, 2013).

عبدالکریم (2016) در پژوهشی بیان داشت در چند دهه گذشته افزایش چشمگیر در استفاده از سیستم‌های مکانیکی تهویه مطبوع در خاورمیانه موجب فراموشی روش‌های سنتی تهویه طبیعی شد و مصرف بالای انرژی را نیز به همراه داشته است (Abdulkareem, 2016: 662-674). فخریه و همکاران (2017) در پژوهشی با هدف مدل‌سازی CFD^۱ تهویه طبیعی در فضای مسکونی، بیان نمودند کمبود هوای سالم در فضای داخلی، به‌شدت بر روی بیماری‌ها سندرم ساختمان تأثیر می‌گذارد و از علائم اصلی آن غلبه سردرد، بی‌حسی و خشکی در مخاط است که عمدتاً توسط غلظت دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌شود. این وضعیت ناشی از استفاده بی‌رویه در سیستم‌های تهویه مطبوع در برآورده ساختن نیاز متمایز انسان است. از این‌رو، تهویه طبیعی به عنوان پیش‌شرط در ارائه آسایش به ساکنان قابل تأمل می‌باشد (Fakh-riah et al., 2017: 1-16).

سعادت‌جو و همکارانش (2019) در پژوهشی با عنوان «تأثیر نسبت حیاط بر راندمان تهویه طبیعی بر چند ساختمان دوطبقه در ایران» مشخص کردند هرگونه تغییر کوچک در پیکربندی فیزیکی نورخان‌ها بر الگوی جریان هوا و راندمان تهویه طبیعی تأثیر خواهد گذاشت. نتایج شبیه‌سازی‌ها که به روش CFD انجام شده نشان می‌دهد که تناسب نورخان موجب افزایش شدید سرعت جریان هوای فضای داخلی می‌شود (Saadatjoo et al., 2019: 2394-2827). تیان و همکارانش (2011) کیفیت هوای محیط بسته و آسایش حرارتی یک دفتر را با تهویه لایه‌ای با کمک روش عددی موردبررسی قرار دادند. این تحقیق نشان داد که در صورت طراحی منطقی،

الگوی جریان هوای داخل دارد (Shetabivash, 2015).

در اکثریت قاطعی از گاوداری‌های بررسی شده (۹۰٪) آگاهی دامدار نسبت به تأثیر عوامل مستعدکننده محیطی رضایت‌بخش نبوده، از سویی کاهش اثر عوامل مستعدکننده محیطی ممکن است تغییرات گسترده‌ای را در جایگاه‌ها و شیوه مدیریت گاوداری ایجاد کند (Rezaei et al., 2022). همچنین تحقیق در ایران در خصوص شرایط و امکانات مقابله با تنش‌های گرمایی دام‌ها، در ۳۰ درصد گاوداری‌های مورد مطالعه امکانات و تجهیزات موثری برای مقابله با تنش گرمایی وجود نداشت، تنها یک گاوداری در رده خوب، ۱۷ گاوداری در رده متوسط و ۱۲ گاوداری در رده نامناسب بودند (Mohebi, 2013). تنش گرمایی عامل مستعدکننده بیماری‌های متابولیک است که بدلیل تهویه نامناسب ایجاد می‌شود (Karimi et al., 2022). افزودن زمان ایستادن حرکات تنفسی گاو، نیازهای نگهداری را بالا می‌برد و همزمان مصرف غذا را نیز کاهش می‌دهد (McDowell, 1974). تهویه با جریان هوای مناسب در جایگاه، از بروز بیماری‌های تنفسی جلوگیری می‌کند (Dale & Brody, 1954). جایگاه‌ها چنانچه نیازهای اساسی گاو را برای تنفس، استراحت، دسترسی به غذا و آب، تحرک و بروز رفتارهای طبیعی را تامین نکنند، می‌توانند سبب عملکرد ناپهینه شوند (Mohebi, 2011).

اسدیان (2006) در پژوهشی به این نتیجه رسید که در بیشتر گاوداری‌ها، موانع محدود کننده جریان عبور هوا و تامین اکسیژن برطرف گردیده و اکسیژن کافی برای دام‌ها تامین می‌شود (Asadian, 2006). بدن دام درگیر سوخت و ساز بالایی بوده و به طور طبیعی به دریافت اکسیژن زیادی نیاز دارد (Nouri et al., 2021). به طور کلی در طراحی جایگاه‌های جدید سوله‌ای مسئله تامین تهویه، بستر مناسب و مدیریت نور در یک سالن بسیار حیاتی است (Azam Rahmati et al., 2021). جریان هوای داخل در زمان تهویه طبیعی، تحت تأثیر دو عامل جریان باد خارج و شیوه گذر آن از فضای داخلی ساختمان است (Chle-la et al., 2009). دو روش برای تحلیل جریان هوا در ساختمان وجود دارد: روش تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی (Loomans & Mook, 1995).

داون و همکارانش (1985) به منظور اعتبارسنجی معادلات نظری توسعه یافته برای تخمین میزان تهویه مبتنی بر اثر دودکشی، اندازه‌گیری‌های گسترده‌ای را تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی که شامل تأثیرات ناحیه باز شدن جانبی، ناحیه دهانه دودکش، لبه دربوش، شیب سقف و سطح سقف چوبی با اندازه ۷۵ میلیمتر در ۲۵ میلیمتر می‌شد، در یک ساختمان گاوداری نمونه طراحی و اجرا کردند (Down et al., 1985).

در عمل تعویض مکانیکی هوای مرغ‌داری‌ها که به یکی از سه صورت حداقلی، انتقالی و تونلی انجام



و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Fluent انجام شده است.

روش انجام پژوهش و اعتبارسنجی آن

روش انجام این تحقیق با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای آن، یک روش ترکیبی بوده و راهبردهای تحقیق تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی را درگیر می‌نماید. جامعه آماری مورد بررسی در این پژوهش شامل تمام سوله‌هایی است که جهت گاوداری در اقلیم سرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نمونه موردی این پژوهش نیز یک گاوداری طراحی شده در شهر سلماتس در قالب سوله است (شکل ۱) که برای حدود ۲۵۰ رأس گاو طراحی شده است. مطابق استانداردهای موجود و نیز نیازسنجی‌های صورت گرفته (Salmas, municipality, 2018; Sadrnia, 2008)، سوله مدنظر به ابعاد ۵۰×۲۰ (طول و عرض) متر و با ارتفاع ۸ متر و با سقف شیبدار به در نظر گرفته شد که در دو طرف طولی آن درب‌های بزرگ ۳×۳ متر (جهت تردد ماشین و گاو در محور مرکزی طولی) با یک کریدور مرکزی طولی در نظر گرفته شد. ۸ دریچه هواکشی سقفی (۱×۱ متر) به فواصل مساوی مطابق شکل ۲ در خط الراس سقف پیش بینی شد و پنجره‌های پیرامونی به ارتفاع ۱/۵ متر در تراز ۱/۵ متری دیوارها و نیز پنجره‌های پیرامونی به ارتفاع ۱ متر در تراز ۵ متری دیوارها (زیر سقف) در نظر گرفته شدند. با باز و بسته بودن بازشوها (درب و پنجره‌های پیرامونی) و تغییر شرایط مکش و دمش دمنده‌ها و مکنده‌ها در موقعیت‌های مختلف و نیز دریچه‌های سقفی، حالت‌های متعددی جهت آزمون‌های شبیه‌سازی فرض گردید. لازم به ذکر است که سقف‌ها از جنس ساندویچ پانل با پوشش فلزی و فوم تزریقی در نظر گرفته شدند و دیوارها از جنس آجر به ضخامت ۳۵ سانتیمتر (مشابه سوله‌های اجرایی برای سایر دامپروری‌های ایران) فرض شد.

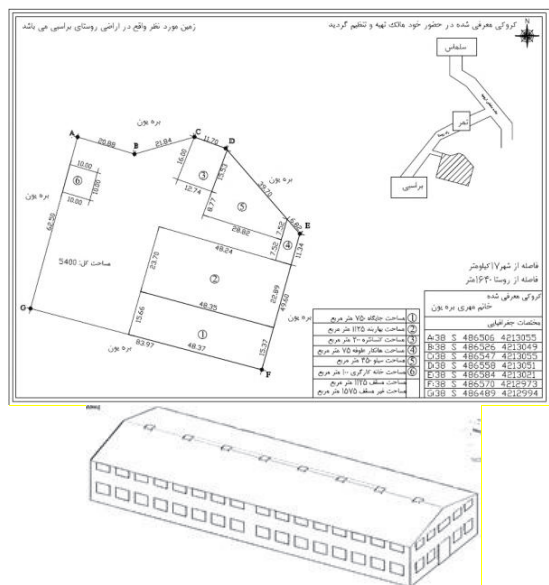


Fig. 1. Situation of placement of a sample cattle farm; Top: Site plan and its details, Bottom: Perspective of cattle breeding

تهویه لایه‌ای قادر است تا کیفیت مناسبی از هوا را در محیط بسته به جریان بیاندازد و آسایش حرارتی مناسبی را با سنجش PMV^2 و PPD^3 به‌دست آورد (Tian et al., 2011: 501-510). هیزلبرگ و ساندبرگ در پژوهشی معادله اوریفیس را برای محاسبه مقدار جریان هوای صورت گرفته در یک تهویه و در یک ساختمان به کار گرفتند و دریافتند که مقدار ضریب تخلیه در بازشو به‌اندازه و نوع بازشو بستگی دارد (Heiselberg & Sandberg, 2006: 43-52).

اولسن و همکارانش (1990) در یک اتاقک حاوی هوا و درون یک محفظه مدل کوچک، آزمایشی را بر جریان جابجایی طبیعی هوا با عدد رایلی حدود ۱۰۱۰ انجام داده است. ابعاد اتاق حدوداً به نسبت ۱ به ۳ بود. در این آزمایش جریان و دمای اندازه‌گیری شده در هسته و لایه مرزی نمایش داده شد. دو حلقه جانبی در آزمایش مشاهده گردید (Olsen, Glicksman, 1990: 640-647). چو و همکارانش (2009) در تحقیق دیگری با استفاده از آزمایش‌های صورت گرفته در یک تونل باد که بر روی یک ساختمان نمونه فاقد اجزای داخلی صوت گرفت، دریافتند که مقدار ضریب تخلیه به جهت باد و مقدار عدد رینولدز در بازشو وابسته می‌باشد و مستقل از مقدار شدت آشفستگی و سرعت جریان خارجی است (Chu et al., 2009: 2064-2072). اکسلی و چانگ (2006) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که بازشوهایی مانند درب و پنجره از نوع بازشوهایی با لبه تیز نیستند (Axley & Chung, 2006: 89-104). ساواچی و همکارانش (2004) نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار ضریب تخلیه در بازشو به جهت جریان و نیز مقدار اختلاف فشار طرفین بازشو بستگی دارد (Sawa-chi et al., 2004: 343-357). همچنین در سال‌های اخیر بهره‌وری انرژی به موضوعات موردعلاقه دانشمندان بدل شده است و شیوه‌های تهویه طبیعی با روش CFD تحلیل می‌گردند (Martínez-Molina et al., 2016). رهایی (2014) در پژوهشی شیوه‌های تهویه مطبوع را در ساختمانی صنعتی با روش تجربی و شبیه‌سازی عددی آزمایش نموده است (Ra-haei, 2014). با همین روش کیفیت جریان هوای داخل در زمان فرآیند تهویه طبیعی آزمایش شد و معماری جهت طراحی اتاق جهت بهبود فرآیند تهویه طبیعی پیشنهاد شد (Teodosiu & Teodosiu, 2014). در دو پژوهش اول موضوع آسایش حرارتی و نیز برقراری جریان هوای مطلوب و همگن موضوعی بسیار پراهمیت می‌باشد و در چهار پژوهش آخر روش CFD و نرم‌افزار Flunent مورد استفاده بوده و تماماً روش‌های تهویه طبیعی را توصیه نموده‌اند. ضمن اینکه در چندین تحقیق مشابه، بهبود وضعیت تهویه طبیعی در فضای معماری را مرتبط با شیوه طراحی فضا دانسته که مشابه آن در این انجام می‌شود. بر اساس پژوهش‌های فوق مشخص شد که روش مورد استفاده معمول در محاسبات، روش CFD بوده



اعتباربخشی شده ناگانو (Nagano & Tagawa, 1990) است که آن نیز بر مبنای تحقیق تجربی اولسن (Olsen, Glicksman & Ferm, 1990) معتبر شده بود و با استفاده از یک روش صفر معادله‌ای و مدل شبیه‌سازی گردیدند. امیدپور و سوفاری (Amidpour & Sofari, 2008) نیز از روش مشابهی در تحقیقات خود استفاده نمودند که به همین شیوه معتبر گردیده است. در این پژوهش نیز از همان روشی که بر مبنای مطالعات تجربی مذکور معتبر شده است، استفاده گردید. بر این اساس روش مورد استفاده در محاسبات عددی، روش دینامیک سیال محاسباتی بوده که از پیش پردازشگر Gambit به منظور شبکه‌بندی (مش) و از نرم‌افزار Fluent به منظور تحلیل شبکه‌ها، استفاده شد.

شبیه‌سازی‌های عددی

گاوداری مورد مطالعه، ابتدا مدل گردید و آزمون‌ها بصورت شبیه‌سازی‌های عددی دوبعدی و با روش CFD مطابق آنچه پیش از این عنوان شد، انجام و تحلیل گردیدند. در این تحلیل‌ها تا حد امکان، همه حالات بررسی شد. پس از آن اقدام به مداخله در معماری گاوداری گردید و نتایج مورد تحلیل و بررسی واقع شدند. شبیه‌سازی‌های عددی و مداخلات این پژوهش از زوایای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و هم مقطع طولی و هم مقطع عرضی با مکنده‌ها و دمنده‌ها و دریچه‌های تامین مختلف مورد آزمون واقع شدند. در این شبیه‌سازی‌ها جریان باد خارج تحت کنترل مکنده‌ها و دمنده‌ها بود و به جهت کاهش آشفتگی‌های جریانات داخلی از ورود مستقیم آن به فضای داخل جلوگیری به عمل آمد و وضعیت گردش هوای داخل سوله بدون در نظر گرفتن شرایط باد خارج به ترتیب زیر سنجیده شد:

الف) ابتدا مقطع طولی (شکل ۳) شبیه‌سازی شد و کلیه حالت‌های گردش هوای داخل در موقعیت‌های مختلف بررسی گردید. بازشوها بصورت دریچه‌های تامین و مکنده و دمنده در موقعیت‌های مختلف مورد آزمون واقع شدند و نتایج این مداخلات در جدول ۱ خلاصه گردید. ضمناً راهنمای جدول ۱ در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

ب) مقطع عرضی (شکل ۶) در این حالت شبیه‌سازی شد و کلیه حالت‌های گردش هوای داخل در موقعیت‌های مختلف بررسی گردیدند. نتایج مداخلات در این حالت در جدول ۲ آمده است. ضمناً راهنمای جدول ۲ در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است.

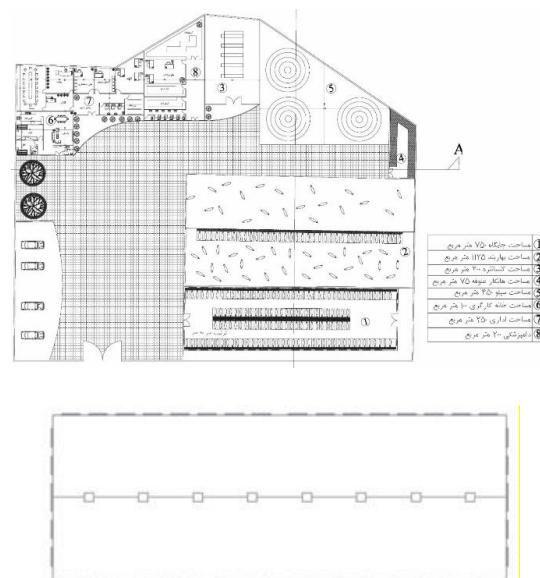


Fig. 2. The plan of the cattle farm under investigation; Top: Ground floor plan and livestock accommodation, Bottom: Roof plan of cattle breeding

اصلاح وضعیت معماری و چیدمان بازشوها و ترکیب اصلی آن‌ها بر اساس نتایج این پژوهش می‌تواند موجب بهبود وضعیت تهویه سوله‌های گاوداری و نیز یکنواخت‌سازی جریان هوای داخل این سوله‌ها شود. دو روش برای تحلیل جریان هوا در ساختمان وجود دارد: روش‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی. روش‌های تجربی یا آزمایشگاهی قابل اطمینان‌ترند، ولی هزینه‌های فراوانی در پی خواهند داشت و وابسته به مکان و زمان‌اند (Loomans, Mook & Van, 1995). این در حالی است که در شبیه‌سازی‌های عددی می‌توان به راحتی با حل معادلات فیزیکی، جریان هوا را محاسبه نمود. شبیه‌سازی‌های عددی در مقایسه با روش‌های آزمایشگاهی بسیار ارزان‌تر، دقیق‌تر و سریع‌تر است. با این حال در این روش نمی‌توان تمامی شرایط فیزیکی را در نظر گرفت و همواره نیاز به یک سری تقریب وجود دارد. لذا ضرورت دارد تا شبیه‌سازی‌های عددی توسط نتایج آزمایشگاهی اعتباربخشی شوند، سپس به عنوان یک ابزار در تحقیق مورد استفاده قرار گیرند (Amidpour & Sofari, 2008).

در این پژوهش، روش شبیه‌سازی عددی در نمونه موردی (گاوداری موردی در شهر سلماس)، مورد استفاده واقع گردیده که با روش‌های تجربی اولسن (Olsen, Glicksman & Ferm, 1990) که در ادبیات موضوع آورده شده است، پیش از این معتبر گردیده است (Rahaei, 2014 & 2013) و اعتبارسنجی آن به اثبات رسیده است. اساس آن بر مبنای روش

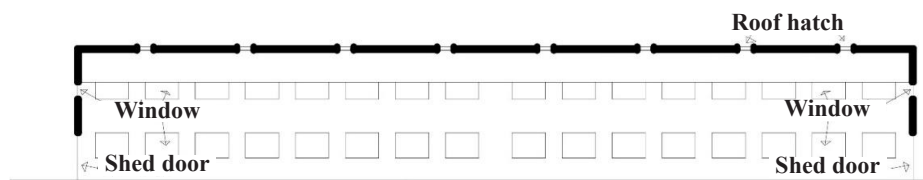


Fig. 3. Longitudinal section of the case sample and the position of its openings

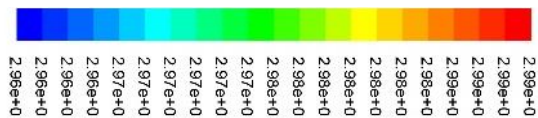


Fig. 4. Guide to air temperature in all relevant images in Table 1 in Kelvin

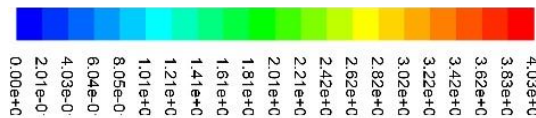


Fig. 5. Air flow speed guide in all relevant images in Table 1 in m/s

Table 1. Simulation of different conditions to the test (Mode A) in the longitudinal section of the case study

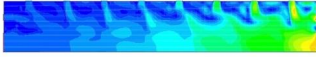
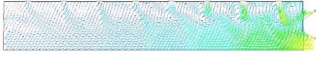

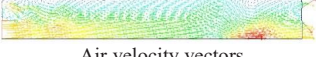

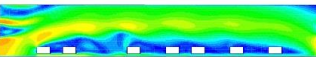
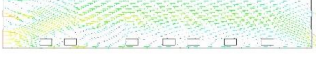
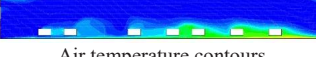
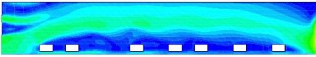

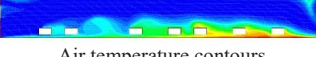
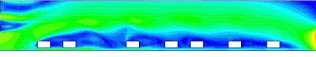

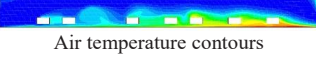
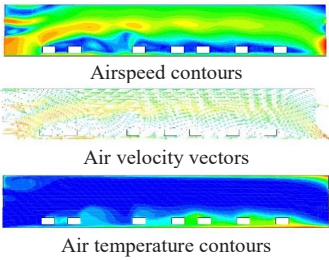
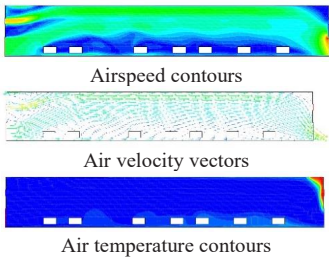
Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
1	In this case, open roof vents, open shed doors, and open windows under the roof were assumed. The door and valve on one side (right), in the role of a sucker, sucks the air inside at a speed of 3 meters per second.	 Airspeed contours  Air velocity vectors	As can be seen in the pictures, the speed of the air flow reaches its maximum near the suction, at the level of the cows there is a relatively favorable air flow and the outside air enters the hall uncontrolled through the ceiling vents and the window under the left roof. Images are taken out through the suction cups on the right. There is not much pressure difference, but due to unplanned and uncontrolled entry of outside air, it will not be approved.
2	It is the same as situation 1, only the roof vents are closed.	 Airspeed contours  Air velocity vectors	In this case, there is a turbulent flow in the level of the cows, which flows alternately from left to right. This model is used in most cattle farms, which is not desirable. The flow under the roof is in the form of a vortex, and hot air and bad smells accumulate there.
3	It is the same as situation 2, but the windows under the roof are closed on both sides and it is only possible to enter and suck through the doors.	 Air velocity vectors	In this case, the quality of the stream does not change significantly compared to the previous state. Only its confusion increases and the air stored under the roof increases.
4	It is the same as situation 2, with the difference that the energy equation is activated and the temperature effect is also seen: the outside temperature is assumed to be 310 degrees Kelvin and the inlet wind temperature is 296 degrees Kelvin. The suction is the same as position 2 on the right side, and the windows on the left side only have temperature settings. Also, the presence of cows was seen in the livestock farm and they were considered as small rectangles at the floor level (according to the figure). The body temperature of the cows and the temperature of the walls is 310 degrees Kelvin (outside isothermal) and its heating power is assumed to be 100 watts according to the standards.	 Airspeed contours  Air velocity vectors  Air temperature contours	<p>According to the pictures (general temperature distribution), the air temperature among the cows on the right side of the shed has increased, but the conditions are tolerable. The left side of the shed, where cool air is distributed, is cold and the animals may not feel comfortable. However, similar to this method is done in some farms, which is not very desirable.</p> <p>The simulations showed that if the thermal power of the walls and traps is assumed to be close to zero, there is no difference in the graphs and the temperature reaches the equilibrium state.</p>
5	This state is exactly like state 4 and only the top valve (under the roof) on the right side is assumed as a blower that throws air in at a speed of 3 meters per second and a temperature of 296 degrees Kelvin (23 degrees Celsius). The body temperature of the cows and the temperature of the walls are assumed to be 310 degrees Kelvin and its heating power is assumed to be 100 watts.	 Airspeed contours  Air velocity vectors  Air temperature contours	<p>In this case, despite the fact that a cooling blower was added on the right side, it did not have an effect on the interior air conditions, and it may have worsened, and the turbulence of the interior air flow has increased. If, as before, the thermal power of walls and traps is assumed to be zero, there will not be much difference in the structure of temperature distribution.</p> <p>Only a little bit the air inside becomes cooler at the level of the animal, which is not very noticeable</p>
6	This state is exactly like state 4 and only the top valve (under the roof) on the right side is assumed to be closed. The body temperature of the cows and the temperature of the walls are assumed to be 310 degrees Kelvin and its heating power is assumed to be 100 watts.	 Airspeed contours  Air velocity vectors  Air temperature contours	<p>In this case, by removing a blower or suction valve, the level of cooler air is slightly lower and it seems that the animals are in a better condition. The air is slightly more turbulent near the suction.</p> <p>If the thermal power of the vents and walls is assumed to be close to zero, there will be no change in the flow pattern and only a very small amount of air temperature will decrease at the vent level.</p>



Table 1. Simulation of different conditions to the test (Mode A) in the longitudinal section of the case study

Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
7	These conditions are assumed to be the same as condition 4, only instead of the suction on the right side, the openings on the left side are assumed to blow the wind with a temperature of 296 degrees Kelvin and a speed of 3 meters per second to the interior space. The roof vents are closed and the openings on the right side act as pressure outlets: the door and window are assumed to be open.		In this case, according to the pictures, the air turbulence is very high and the air temperature difference on the left and right side of the shed is large, so that the animals on the left side, which are exposed to cold air, are likely to get cold, and the initial wind speed on the left side is high. It has been and the whole flow is chaotic. In this case, the heating power of livestock is considered to be 100 to 150 watts. If the mentioned heating power becomes zero, the temperature of the environment at the level of the animals will be slightly lower, which can be ignored.
8	All settings are assumed to be the same as mode 7, with the difference that the upper left valve, the blower with a temperature of 296 degrees Kelvin, and the lower right valve are assumed to be the suction. The lower left valve is an open valve that acts as a pressure outlet and adjusts the internal pressure. It should be noted that the heating power of livestock is assumed to be 100 to 150 watts.		Regardless of the energy consumption, the ambient temperature reaches a balance in this situation and the indoor air is relatively uniformly cool. The air disturbance was at the level of the animal, which is normal. The air pressure is favorable and relatively balanced. The problem is the relatively high energy consumption due to the operation of all air inlet and outlet valves. In a situation where the heating capacity of animals is assumed to be close to zero, almost no changes occur in the air flow diagrams inside

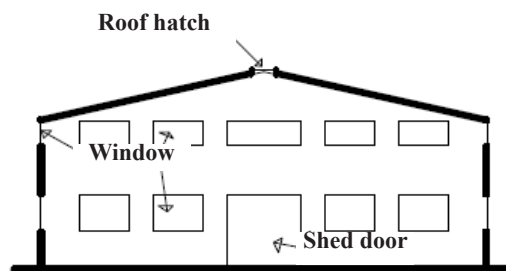


Fig. 6. Cross-section of the research case sample and the location of its openings

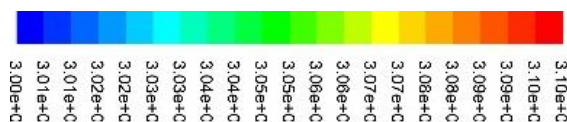


Fig. 7. Guide to air temperature in all related images in Table 2 in Kelvin

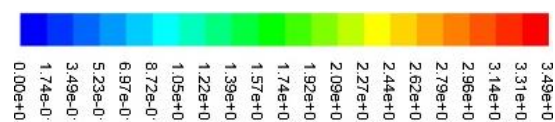


Fig. 8. Air flow speed guide in all related images in Table 2 in meters per second

Table 2. Simulation of different states of the test (Mode B) in the cross section of the case study

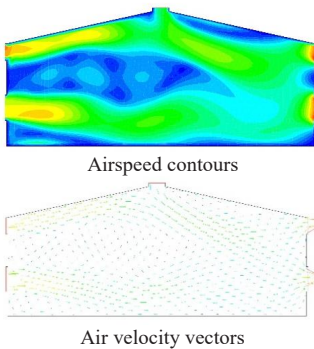
Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
1	The valves on the right have a suction role that sucks air out of the shed at a speed of 3 meters per second, and the rest of the valves are assumed to be open. In this case, the energy equation is not active and only the shape of the air flow inside is considered.		According to the pictures, there is an uncontrolled and constant air flow inside the shed, and despite all the openings in the middle of the shed being open, the air flow is stagnant, which causes the accumulation of unpleasant odors and stagnant air in that area. However, due to the lack of establishment of this air mass at the level of employees and animals, it does not have much effect on the comfort conditions of animals and people.

Table 2. Simulation of different states of the test (Mode B) in the cross section of the case study

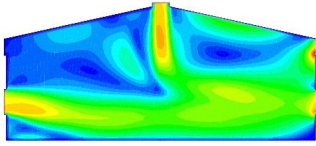
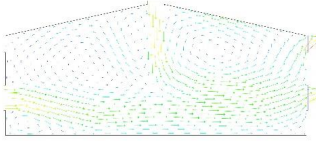
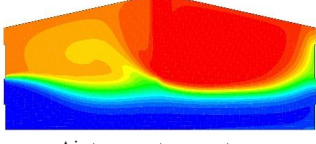
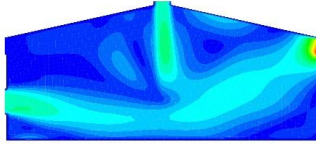
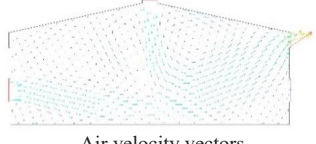
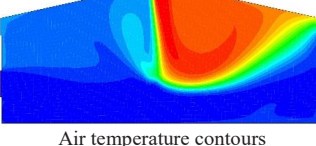
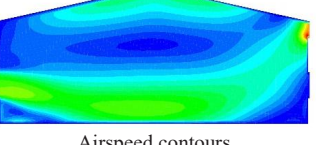
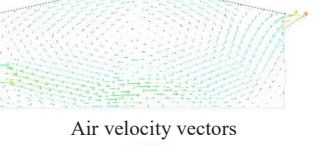
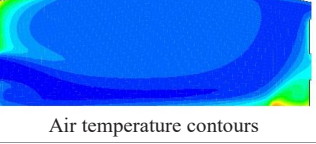
Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
2	In this situation, which is somewhat similar to situation 1, the energy equation is activated, the outside temperature is assumed to be 310 degrees Kelvin, the upper left window is closed, and the lower left window provides a temperature of 300 degrees Kelvin (pressure outlet). The assumed open roof opening (pressure outlet) and the openings on the right side are sucking (velocity inlet) and throw the wind out at a speed of 3 meters per second..	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	The pictures show that there is a balanced flow at the level of the animals, and at the same time, the optimal temperature is also established at the level below 3 meters, which is the main need of animal husbandry. Regardless of the energy consumption, which seems to be high, there is a favorable flow
3	This state, whose cross-section is similar to state 1, the energy equation is activated, the ambient temperature is assumed to be 310 degrees Kelvin, the upper left and lower right windows are closed, the lower left window provides a temperature of 300 degrees Kelvin and acts as a valve. Air supply (no suction or blowing) is assumed (pressure outlet). The upper right window acts as a sucker that sucks the air out at a speed of 3 meters per second. Except for the lower left air supply valve, all other openings are at ambient temperature.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	Energy consumption in this situation is lower than situation 2 due to the removal of one of the suckers. The level of the desired air flow is slightly higher compared to situation 2, and of course the air temperature of the people and animals is still pleasant, although there is a slight disturbance in the air flow inside. The air pressure is favorable and the accumulation of hot air is placed under the roof of the suction side.
4	This state is exactly like state 3 and only the roof hatch is closed.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	Although there is apparently a better temperature balance and because the roof vent is closed, less energy loss occurs, but the air flow inside is constantly rotating in the form of an air vortex at the level above 3 meters, and the polluted air accumulates in the upper half of the shed, which causes the remaining Polluted air and unpleasant smell in the interior. However, the energy consumption in this state is less and the air balance for animals and humans is favorable and suitable. The pictures confirm this.



Table 2. Simulation of different states of the test (Mode B) in the cross section of the case study

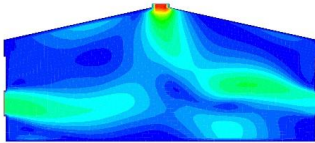
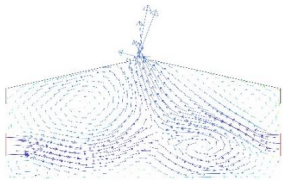
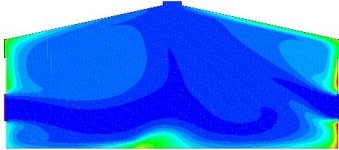
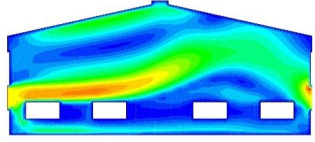
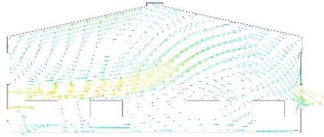
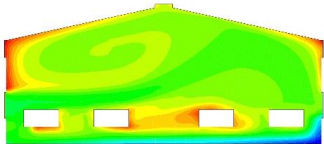
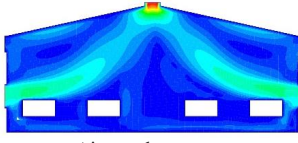
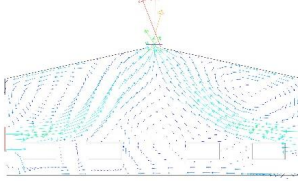
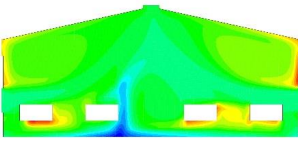
Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
5	In this situation, which is the same as situation 4, the ceiling valve is assumed as a sucker that throws air out at a speed of 3 meters per second. Both the lower openings (right and left) are assumed to supply cool air inside (pressure outlet) and do not have fans. That means they are neither sucking nor blowing. The upper openings are also assumed to be closed.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	In this case, despite the fact that by using more energy, we try to cool and supply more favorable air, and the cool air is supplied from both the right and left sides of the animals, a favorable flow does not occur in the interior space, the disturbance of the air flow inside is high and The air temperature inside also increases, contrary to what it seems. This model consumes more energy and creates a turbulent internal flow. Its only advantage is the non-accumulation of polluted air under the roof, which is not recommended due to its disadvantages. The pictures confirm this.
6	Animals (cows) have been added to the indoor environment with a thermal power of 200 watts and a heat of 310 degrees Kelvin. Assumptions: the ambient temperature is 310 degrees Kelvin, the roof vent and the openings under the roof of the shed, closed and the lower left opening, as a suitable air supply valve that provides air with a temperature of 300 degrees Kelvin. The valve on the lower right side is the suction, which is the same temperature as the environment and throws the air out at a speed of 3 meters per second.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	In this case, the disturbance of the internal air flow is very noticeable in the position of the animals, which is of course normal. The favorable air level has risen and the air level for animals is warmer. Accumulation of pollution does not happen under the roof, and instead, due to the creation of a vortex flow at the level of the animals, the accumulation of polluted air at the level of the animals is noticeable. In general, this model can be favorable in terms of relatively favorable temperature flow.
7	This situation is similar to situation 5 of this section, only cattle were added to it according to the pictures: like situation 6, cows with thermal power of 200 watts and heat of 310 degrees Kelvin are assumed in the environment (4 cows across the shed). The lower air supply valves provide a temperature of 300 degrees Kelvin, and the ceiling valve has the role of a sucker, which is the temperature of the outside environment.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	Due to the presence of animals, the air turbulence is reduced and the shape of the air flow inside is completely changed compared to situation 5. Due to the presence of animals, the desired air level is higher and although the air disturbance is reduced, however, due to the change in the air movement model in this case, the middle part of the shed is not ventilated and the air accumulates there. In addition, energy consumption is also high in this mode. The pictures below confirm this.

Table 2. Simulation of different states of the test (Mode B) in the cross section of the case study

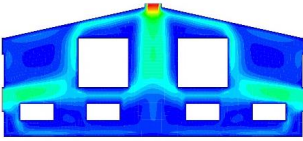
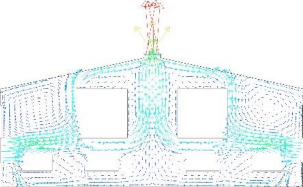
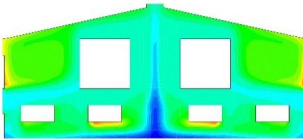
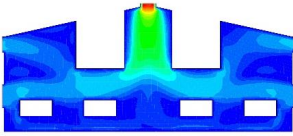
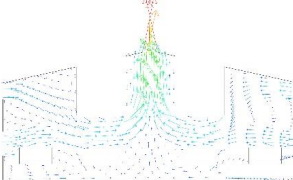
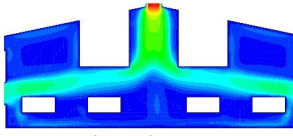
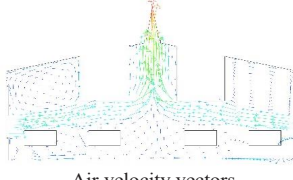
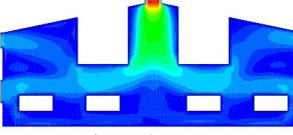
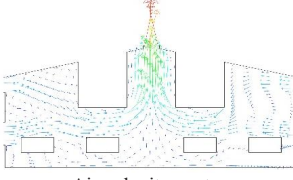
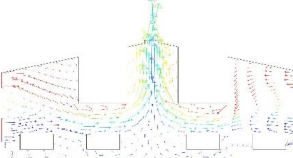
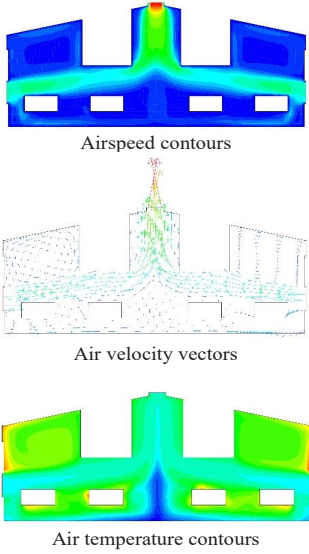
Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
8	It is exactly the same situation as 7, with the difference that there are conditions to lower the desired air to the level of the animal and practically eliminate the air vortices under the roof. In this situation, this goal is achieved by creating a floor (for example, an office or fodder warehouse) or a full space under the roof, as shown in the pictures below.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	As the pictures show, the internal air flow has been modified in a strange way and despite the traps, the turbulence of the internal air flow has been greatly reduced, the internal temperature is more favorable and the comfort conditions have been provided. With the removal of air vortices, the accumulation of polluted air and unpleasant odor under the roof has practically disappeared. The pictures below confirm this.
9	This state is actually a modified form of state 8, while the energy equation is not activated and the goal is to analyze the motion of the internal fluid. The ceiling vent plays the role of a sucker and throws the inside air out at a speed of 3 meters per second, and the rest of the openings (the 4 lower and upper openings of the side walls are all open) have the task of supplying air (pressure outlet).	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>	In this case, there is a more favorable flow at the level of the animal, but the main problem is the accumulation of air in the empty spaces adjacent to the side walls under the roof. However, the shape of the air flow inside is such that it can empty the polluted air under the roof through the central suction. The fact that the wall openings are open will cause a better discharge of polluted air and its non-stasis in the interior space, but it will increase energy consumption to stabilize the desired air in the interior space. Therefore, a solution should be found to reduce consumption.
10	This state is exactly like state 9 (previous) with the difference that the side windows under the roof are closed in the side walls and only the lower openings provide the desired air.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>	In this case, according to the pictures, the desired flow of livestock is slightly disturbed, which can be ignored, but we will have the accumulation of pollution under the ceiling in the empty space near the side walls.
11	Considering that position 9 provides better conditions, the energy equation was activated for it, and in order to reduce energy consumption, the upper openings of the side walls are only responsible for supplying air from the outside, and the lower openings provide fresh air. Thus, a temperature of 310 degrees Kelvin and a power of 200 watts were considered for the body of cows, the upper supply valves were considered to be the same temperature as the outside environment (310 degrees Kelvin) and the lower supply valves were considered as cooling with a temperature of 300 degrees Kelvin.	 <p>Airspeed contours</p>  <p>Air velocity vectors</p>  <p>Air temperature contours</p>	According to the pictures below, the air temperature at the level of the animals is comfortable and the incoming air from the upper wall openings (under the roof) discharges unpleasant odors.



Table 2. Simulation of different states of the test (Mode B) in the cross section of the case study

Status number	Description of the situation	Velocity contours (top) and velocity vectors (middle) in meters per second and air temperature contours (bottom) in Kelvin	Results
12	If the upper openings of the side walls are assumed to be closed in the section of situation 11, the shape of the air flow inside will be as shown in the pictures.	 <p>Airspeed contours</p> <p>Air velocity vectors</p> <p>Air temperature contours</p>	There is thermal balance and comfort conditions at the livestock level, energy consumption is less compared to the previous situations and only part of the air is trapped under the roof next to the side walls in the form of eddy currents, which has no effect on the comfort conditions. In terms of energy consumption and providing comfort conditions at the same time, this mode is optimal. However, regardless of energy consumption, position 11 is a better option and there is a more effective flow in the interior space.

یافته‌ها

با توجه به اینکه در این پژوهش هدف بهبود جریان هوای داخل و متعاقباً تهویه درون سوله گاوداری‌های اقلیم مشابه شهر سلماس (سرد) است، حالت‌های مختلف یک نمونه موردی رایج بصورت دوبعدی بررسی گردید. همان‌گونه که عنوان شد نمونه موردی این پژوهش یک سوله متوسط با ظرفیت ۲۵۰ راس گاو به ابعاد ۲۰*۵۰ متر به ارتفاع ۸ متر است که با سقف شیبدار دوطرفه‌ای به شکل ۸ پوشش یافته است. مداخلات بصورت شبیه‌سازی‌های عددی در محیط نرم‌افزار Fluent انجام پذیرفتند. این مداخلات شامل تغییرات در موقعیت بازشوها، نوع ارتباط آن‌ها با محیط خارج، موقعیت مکنده‌ها و دمنده‌ها و نیز اجزای داخلی معماری گاوداری بودند. این مداخلات در مقاطع دوبعدی طولی و عرضی سوله مدنظر انجام شدند و به جهت سهولت محاسبات، در آزمون‌های اولیه، معادلات انرژی فعال نشدند و صرفاً گردش هوای داخل مدنظر بود. سپس برای شرایط گرما و سرمای محیط با فعال‌سازی معادلات انرژی، اقدام به تجزیه تحلیل و مقایسه نتایج شد.

ابتدا مقاطع طولی شبیه‌سازی شدند که نتایج ۸ وضعیت مداخله آن در جدول ۱ آورده شد. سه وضعیت اول جدول مذکور بدون در نظر گرفتن دمای محیط و صرفاً بر اساس گردش هوای داخل بوده که از این میان وضعیت شماره ۲ که مطلوب‌تر بود و در برخی گاوداری‌ها مورد استفاده است، برای فعال‌سازی معادلات انرژی انتخاب شد. بهترین شرایط در تهویه طولی سوله‌ها در وضعیت ۸ دیده شد. بدین ترتیب که دمیدن هوای خنک و مطبوع از طریق دریچه زیر سقف از یک سمت انجام و مکش هوای داخل سوله از طریق بازشوی پایینی سوله در سمت مقابل انجام شود. سایر دریچه‌ها بسته باشند و صرفاً یک دریچه تنظیم فشار در تراز پایین ضلعی که دمنده

هوای مطبوع در آن نصب شده است، پیش‌بینی شود. در این صورت پخشایش دما در محیط داخلی و نیز گردش هوای داخل در مطلوب‌ترین حالت تهویه طولی خواهد بود. به نظر می‌رسد که مصرف انرژی در این حالت بالا بوده اما نسبت به تمام شرایطی که امروزه در گاوداری‌ها به منظور خنک‌کنندگی یا تهویه مطلوب استفاده می‌شود، موثرتر و کم‌هزینه‌تر (به لحاظ مصرف انرژی) خواهد بود. زیرا رادیاتورهای تولید دمای مطلوب (گرم یا سرد) فقط در یک سمت و آن هم در دریچه زیر سقف نصب می‌شوند که نسبت به حجم سوله، بسیار مرقون به صرفه بوده و مصرف چندانی ندارد. همچنین برای تولید گرما باید دریچه تنظیم فشار سمت دمنده بسته باشد و یا این‌که دارای رادیاتور با آب گرم باشد.

در گام بعدی مقاطع عرضی گاوداری شبیه‌سازی شدند که نتایج ۱۲ وضعیت مداخله آن در جدول ۲ آورده شده است. در تمام وضعیت‌ها معادله انرژی فعال شد و روند پخشایش دما و گردش جریان هوای داخل بسته به نوع مداخله بررسی گردید.

حالت‌های تهویه در ۷ وضعیت اول مقایسه گردیدند و هیچ کدام جریان مطلوبی را ارائه ننمودند. تنها در وضعیت شماره ۷ تا حدودی مطلوبیت پخشایش دما و گردش موثر جریان هوا احساس می‌شود که بدلیل بالا رفتن تراز خروج هوا، بسیار پر مصرف و کم بازده است. مطالعه گردش جریان هوا نشان داد که در صورتی که تراز ورودی و پخش جریان هوا در سالن پایین بیاید، ممکن است جریان بهینه‌ای برقرار گردد. لذا با پر کردن فضای بالای سوله مطابق وضعیت‌های ۸ تا ۱۲، اصلاح جریان صورت گرفت. وضعیت‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ شرایط بسیار مطلوبی ارائه دادند. وضعیت ۱۲ در شرایط هوای سرد می‌تواند بسیار موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی باشد. زیرا بسته بودن دریچه‌های تامین زیر سقف، مانع از ورود

آن پیش‌بینی شود و مکنده‌ای (جت فن) در سمت مقابل در تراز کف قرار گیرد و هوای داخل را به سمت خارج پرتاب کند (مانند وضعیت ۸ مندرج در جدول ۱). در این صورت هوای تازه خارج پس از گذر از رادیاتور، مطلوب شده و وارد سالن می‌گردد و پس از پخشایش مطلوب دما در محیط از طریق مکنده سمت مقابل، خارج می‌شود. در تراز پایین ضلعی که رادیاتور در آن نصب شده، یک دریچه تنظیم فشار مورد نیاز است که در فصل سرد بسته است.

۳. در صورتی که بتوان در فضای داخلی گاوداری دخل و تصرف نمود (وضعیت ۱۲ مندرج در جدول ۲) و بخشی از فضای داخل را پر کرد، تهویه عرضی از دوطرف پیشنهاد می‌گردد. به این صورت که مکنده اصلی در دریچه سقفی نصب گردد و دو دریچه تامین هوای تازه مجهز به رادیاتورهای آب سرد و گرم در تراز حدود ۱ تا ۲ متر نصب شوند تا هوای خارج پس از گذر از رادیاتورها مطلوب شده و پس از آن که هوای داخل را تهویه موثر نمودند، از دریچه سقفی خارج شوند. پیش‌بینی دو دریچه تامین هوای خارج در تراز بالای ۳ متر در دیواره‌های جانبی در فصل گرم موثر است؛ اما در فصل سرد باید بسته باشند.

۴. در کل تهویه عرضی با دریچه سقفی بازدهی بیشتری نسبت به تهویه در طول سوله گاوداری دارد، لذا حالت تهویه موثر در عرض سالن، مطابق وضعیت ۱۲ مندرج در جدول ۲ بهترین حالت ممکن می‌باشد.

پی‌نوشت

1. Computational Fluid Dynamics (CFD)
2. Predicted Mean Vote (PMV)
3. Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافع برای ایشان وجود نداشته است.

تأییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی / حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به‌طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

هوای سرد به محیط می‌شوند. در حالی که در فصل گرم، بهتر است دریچه‌های زیر سقف در دیواره‌های جانبی مانند وضعیت ۱۱ باز باشند، تا ضمن تامین بهتر هوا، تخلیه موثرتر هوای گرم را نیز داشته باشند. همانگونه که در مقاله دیده شد، سوله‌های دامداری موجود، گردش هوای بسیار آشفته‌ای دارد که با توجه به عدم پیش‌بینی‌های مناسب، اتلاف دام در آن‌ها به نسبت زیاد بوده و در مواردی که از مکانیزم‌های تهویه مکانیکی استفاده می‌شود، هم اتلاف انرژی بسیار زیاد است و هم گردش هوای موثری در دامداری وجود ندارد و این عامل سبب استرس گرمایی دام‌های نزدیک نازل‌ها شده و اختلاف دمای بسیار زیادی ایجاد می‌نماید. در حالی که در حالت بهینه که مطابق شکل ۹ می‌باشد، جریانی آرام و مطلوب از طریق پنجره‌های جانبی به فضای داخلی مکیده شده و این جریان پس از عبور از رادیاتورهای کار شده در پنجره‌ها و نیز رطوبت‌زدایی مناسب به کمک مه‌پاش‌ها در صورت نیاز، مطبوع گردیده و با صرف حداقل انرژی از لابلای دام‌ها حرکت نموده و از طریق بازشوی سقفی به خارج مکیده می‌شود. در واقع فقط یک فن مکنده در بازشوی سقفی دیده شده و تعدادی رادیاتور در پنجره‌ها کار شده است.

Fan assisted suction

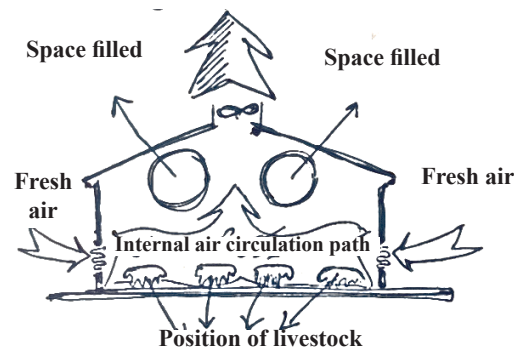


Fig. 9. Schematic composition of the revised model

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس مطالب عنوان شده، در دو حالت تهویه طولی و عرضی گاوداری‌های اقلیم سرد، موارد زیر پیشنهاد می‌شوند:

۱. از ورود پیش‌بینی نشده هوای خارج به فضای داخل گاوداری‌ها باید بشدت پرهیز شود، زیرا جریان آشفته‌ای در داخل شکل می‌گیرد که نه تنها پخشایش دمای مناسبی ندارد و خصوصاً در فصل سرد سلامتی دام‌ها را در خطر می‌اندازد، بلکه مانع کارکرد موثر یک سیستم تهویه موثر در فضای داخل می‌شود.

۲. در صورتی که تمام فضای سوله مورد نیاز است، استفاده از یک مکانیزم تهویه یک‌طرفه طولی در طول گاوداری مورد نیاز است که ضمن بسته بودن تمام بازشوها، پیشنهاد می‌گردد در یک سمت سوله، در تراز بالای ۳ متر، یک منبع تعدیل دما نظیر رادیاتور (با آب سرد و گرم)، در بازشوی



References

1. Abdulkareem, H. A. (2016). Thermal comfort through the microclimates of the courtyard. A critical review of the middle-eastern courtyard house as a climatic response. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 662-674.
2. ACGIH. (2011) The Industrial Ventilation Manual. USA: The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Ltd.
3. Amidpoor, m. (2009) survey of the usage of no chimney heaters on indoor air quality, a research project, Khaje Nasir university, mechanic department: Iran's consumption improvement co. [in Persian]
4. Amidpour, Majid and Sofari, Seyyed Mahdi. (2008). Investigating the role of flow mixing in the optimal design of water and energy networks, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, Volume 28, Number 2, 1-11. [in Persian]
5. ASHRAE, H. (2007). applications, Atlanta, Ga: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc.
6. Axley, J., & Chung, D. (2006). Well-posed models of porous buildings for macroscopic ventilation analysis. *International Journal of Ventilation*, Vol. 5, No.1, PP.:89-104.
7. Azam Rahmati, Elahe; Mohammadi, Hossein and Karbasi, Alireza (1400) Analysis of the sustainability of livestock sub-sector activities in the provinces of Iran, *Quarterly Journal of Agricultural Economics and Development*, serial 115 (autumn 1400), 189-208
8. Bagheri, Hadi (2013). A review of pheasant breeding, *Journal of Poultry and Animal Husbandry Sciences*, August and September 2013, number 11
9. Bruce, J. M. (1978). Natural convection through openings and its application to cattle building ventilation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23(2), 151-167.
10. Burgess, W. A. (1995) *Recognition of Health Hazards in Industry*. New York: Wiley Ltd.
11. Busch, J.F. (1992). A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand, *Energy and Buildings* 18 (3/4) 235-249.
12. Cherier, M. K., Benouaz, T., Bekkouche, S. M. A., & Hamdani, M. (2018). Some solar passive concepts in habitat through natural ventilation case study: Dry climate in Algeria Ghardaia. *Case studies in thermal engineering*, 12, 1-7.
13. Chlela, F., et al. (2009). A new methodology for the design of low energy buildings, *Energy Build.* 41 982-990.
14. Chu, C. R., Chiu, Y. H., Chen, Y. J., Wang, Y. W., & Chou, C. P. (2009). Turbulence effects on the discharge coefficient and mean flow rate of wind-driven cross ventilation, *Building and Environment* 44, PP.2064-2072.
15. Cleon, Tommy. (2011). Natural ventilation in buildings, architectural concepts, requirements and facilities, translators: Mohammadreza Lil-ian, Mahdia Abedi, Arin Amirkhani and Mansoura Tahbaz, specialized publisher of architecture and urban planning, first edition, 14-60. [in Persian]
16. Dale, H. E., & Brody, S. (1954). *Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals*. XXX, Thermal stress and acid-base balance in dairy cattle. University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.
17. Down, M. J., McMahon, T. A., Foster, M. P., & Redding, G. J. (1985). The design of livestock buildings for natural ventilation: the theoretical basis and a rational design method. *Agricultural Engineering Report-University of Melbourne Department of Civil and Agricultural Engineering (Australia)*.
18. *Energy Consumption Guide 19* (1993). Energy Efficiency in Offices, Energy Efficiency Office/HMSO, London.
19. *Energy Information Administration* (1995). State Energy Data Report, 3-7 Tables.
20. Fakhria, F., Yusoff, W. F. M., Mohamed, M. F., & Sopian, A. R. (2017). CFD modeling of natural ventilation in a void connected to the living units of multi-storey housing for thermal comfort. *Energy and Buildings*, 144, 1-16.
21. Giel, P. W., & Schmidt, F. W. (1986). All experiment study of high Rayleigh number natural convection, In: *An Enclosure Proceeding of the 8th International Heat Transfer Conference*, Vol. 4, pp. 1459-1464.
22. Hassana. M.A, et al., (2007). Investigation of effects of window combinations on ventilation characteristics for thermal comfort in buildings. 209: 251-260.
23. Heiselberg, P., & Sandberg, M. (2006). Evaluation of discharge coefficients for window openings in wind driven natural ventilation, *International Journal of Ventilation*, Vol. 5, No.1, PP. 43-52.
24. Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2004). Wind driven flow through openings-a review of discharge coefficients, *International Journal of Ventilation*, Vol. 3, No.3, pp. 255-266.
25. Karimi, Rasul; Ghanbari, Amrullah and Yazdan-Shanesh, Sadegh (2022) Heat stress in cattle farms, *Iranian Livestock Monthly*, No. 40, 269-270[in Persian]
26. Loomans, M. G. L. C., & Mook, F. V. (1995). Survey on measuring indoor airflows FAGO. Report 95.25.W, Eindhoven University of technology Sweden.
27. Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S., & Vivancos, J. L. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70-85.
28. Masoudi, Siamak. (2004). Taking care of the calf at the time of birth, promotional publication of the Ministry of Agricultural Jihad, first edition,

- Tehran, published by Shaghaig Rusta Cultural and Artistic Institute. [in Persian]
29. McDowell, R. E. (1974). Effect of environment on the functional efficiency of ruminants. In *Livestock Environment. Proceedings of the 1st International Livestock Symposium*. ASAE, St. Joseph, MI (pp. 220-231).
 30. Muhsin, F., Mohammad Yusoff, W. F., Mohamed, M. F., & Sopian, A. R. (2016). The effects of void on natural ventilation performance in multi-storey housing. *Buildings*, 6(3), 35.
 31. Nagano, Y., & Tagawa, M. (1990). An improved k-ε model for Boundary layer flows, *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 112, pp. 33-39.
 32. Nouri, Mohammad; Mesmi, Mohammad Ali and Qasimzadeh, Hamidreza (2021). Estimation of pollution and environmental effects of different methods of disposal of cattle wastes using IPCC recommendations, *Agricultural Mechanization Journal*, sixth year, number 3 (autumn 2021), 39-33[in Persian]
 33. Olsen, D. A., Glicksman, L.R., and Ferm, H. M. (1990) "Steady state natural convection in a empty and partitioned enclosure at high Rayleigh numbers", *J. Heat Transfer, Trans. ASME* 112: 640-64.
 34. Rahaei, O. (2013) cultural identity and its effects on natural ventilation's method in traditional Bazaar of Dezful, *Bagh-e-Nazar*, 2013:39-46. [in Persian]
 35. Rahaei, O. (2013). Investigating the indoor air flow process and its analytical models in small industrial sheds with CFD method, *Sustainable Architecture and Urbanism*, second year, number two, 55-63. [in Persian]
 36. Rahaei, O. (2014). Effects of architectural somatic variables on mixed air conditioning systems' efficiency in industrial buildings, *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*, Vol. 12, pp. 69-81.
 37. Rahaei, O. (2019). Investigating the physical changes of the central courtyards on the air flow pattern inside them in the Qajar era houses of Isfahan using CFD method (case study: Labaf House), *Stable City Architecture*, 9th year, 2nd issue, 25-46. [in Persian]
 38. Rahaei, O. and Azemati. H. (2018). Improving the quality of natural ventilation in classrooms in Mazandaran province based on the condition of openings using the CFD method. *Iran Scientific Journal of Architecture and Urban Planning*, Volume 11, Number 19, 57-71. [in Persian]
 39. Reshnotalai, Nasreen; Shams Khorramabadi, Qadrat Elah; Godini, Hatem; Rashidi, Rajab and Yousufzadeh, Abdul Rahim. (2013). Investigating indoor and outdoor air pollutants of urban residential houses, *Mazandaran University of Medical Sciences Journal*, February, Volume 121, Number 24, 329-399.
 40. Rezaei, Mehrangiz; Faraji Sabokbar, Hassan Ali; Mazinani, Hamed; and Tahmasabi, Siamak (1401). Spatial modeling of industrial cattle ranches in rural areas of Iran, *Spatial Economy and Rural Development Quarterly*, 11th year, number 1 (series 39, spring 1401), 25-44
 41. Roasaei, A., & Rahaei, O. (2020). Improvement of Indoor Air Flow Quality under the Influence of Internal Partition Walls in Air-Conditioned Office Spaces Using CFD Method. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 13(30), 69-81.
 42. Saadatjoo, P., Mahdavinejad, M., & Zarkesh, A. (2019). Porosity Rendering in High-Performance Architecture: Wind-Driven Natural Ventilation and Porosity Distribution Patterns. *Utopia architecture and urban planning*. 87-73, (26) 12.
 43. Sadrnia, Hassan. (2008). Designing the ventilation system of industrial livestock farms in accordance with international standards, *Proceedings of the first national industrial ventilation conference*, 5th and 6th of March, Sharif University of Technology. [in Persian]
 44. Sawachi, T., Ken-ichi, N., Kiyota, N., Seto, H., Nishizawa, S., & Ishikawa, Y. (2004). Wind pressure and air flow in a full-scale building model under cross ventilation. *Int J Vent*, Vol.2, No.4, pp. 343-357.
 45. Salmas municipality (2018). Filed in Selmas municipality in 2013. [in Persian]
 46. Shaw, C. Y. (1997). Maintaining Acceptable Air Quality in Office Buildings through Ventilation. *National Research Council of Canada Januray*, 3, 1206-1220. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=5ce65c15-0fe8-438f-9ea3-40300ab4325e>.
 47. Shetabivash, H. (2015). Investigation of opening position and shape on the natural cross ventilation. *Energy and Buildings* 93. 1-15.
 48. Sribanurekha, V., Wijerathne, S. N., Wijepala, L. H. S., & Jayasinghe, C. (2016). Effect of Different Ventilation Conditions on Indoor CO₂ Levels.
 49. Teodosiu, C., Ilie, V., Teodosiu, R. (2014). Appropriate CFD turbulence model for improving indoor air quality of ventilated spaces, *Mathematical Modelling in Civil Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 28-42.
 50. Tian, L., Lin, Z., Liu, J., Yao, T., & Wang, Q. (2011). The impact of temperature on mean local air age and thermal comfort in a stratum ventilated office. *Building and Environment*, 46(2), 501-510.

