



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Examining Investigating the Effect of the Central Courtyard Structure on the Natural Ventilation of Traditional Houses in Yazd; Case Study: Lariha and Golshan Houses

Omid Rahaei ^{1,*}, Milad Omid ², Amir Hossein Shirdel ³

¹ Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

² Ph.D. Candidate in Architectur, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

³ M.A. Student in Architectur, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2024/02/02
Revised 2024/06/08
Accepted 2024/07/31
Available Online 2025/09/22

Keywords:

Natural Ventilation
Central Courtyard
Lariha House
Golshan House
Traditional House
Design Builder

Use your device to scan
and read the article online



Number of References

67



Number of Figures

30



Number of Tables

4

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: The central courtyard is one of the important architectural elements of traditional houses in hot and dry regions of Iran, which plays a major role in organizing space, improving climatic conditions, and providing comfort to residents. The physical dimensions of this courtyard, especially its depth and height, are effective in temperature balance and natural ventilation, and have a great impact on the surrounding air flow, especially in hot summers. Traditional Iranian architecture has provided suitable solutions to deal with heat by using this element appropriately. However, scientific investigation of the appropriate dimensional ratios of the central courtyard is still one of the research needs of Iranian architecture, especially in the contemporary period when attention to indigenous patterns and new technologies has increased. The aim of this research is to analyze the effect of the dimensions of the central courtyard, especially its depth and height, on natural ventilation in traditional houses in hot and dry regions of Iran, and by simulating the houses of Lariha and Golshan in Yazd, it seeks to determine the optimal dimensions to improve the quality of ventilation and thermal comfort, and to apply these findings in modern architecture.

METHODS: This research is of a quantitative and qualitative type, and experimental, test, and case study strategies have been used to conduct it. The data collection method includes library studies, observations, field observations, measurements, and simulations. Since the aim of the research is to investigate the improvement and performance of natural ventilation of the central courtyard in traditional Iranian houses, the dimensions of the central courtyard were considered as the independent variable and the air circulation pattern inside the courtyard as the dependent variable. The statistical population of this research includes houses with a central courtyard in Yazd and two houses in Lariha and Golshan, Yazd, as study samples, which were also selected in a non-randomly targeted manner. Initially, field measurements of the dependent variable (airflow speed and direction) were taken as primary data and simulation validation was carried out over a 30-day period, 3 times a day (9 am - 12 noon and 3 pm) in August, using a 200kimo/v device. Then, the measured data and the 3D model of the case samples were simulated using Design Builder software with the aim of analyzing the air circulation pattern in the central courtyard. Finally, the variable size of the height of the central courtyard was measured through intervention in the simulations.

FINDINGS: The initial findings of this study indicate that the ventilation performance and air flow velocity in the central courtyard are very complex and are affected by many factors, but in order to simplify the study, only the effect of the courtyard height was investigated. In this regard, the air flow velocity at different heights of the central courtyard, including an increase and decrease in height by 2 meters, was simulated and compared. The results indicate that in both the Golshan and Lariha houses, increasing the height of the courtyard by 2 meters compared to the initial state causes a relative increase in the air flow velocity. For example, in the Golshan house, an increase in height of 2 meters increases the wind speed by about 9 to 20 percent, and in the Lariha house by about 11 percent. Similarly, a decrease in height by the same amount causes a significant decrease in the wind speed inside the courtyard. However, in the continuation of the study

Extended ABSTRACT

and with a further increase in height (up to 4 and 6 meters), the trend of changes was reversed; that is, an excessive increase in height caused a sharp decrease in the air flow velocity in the central courtyard, and in some cases, the speed reached close to zero. In contrast, a significant decrease in height (4 to 6 meters) also caused a significant increase in the average wind speed, approaching the speed of the outdoor air. Overall, these studies indicate a direct relationship between a moderate increase in courtyard height and air flow speed, but an excessive increase in height causes a significant decrease in ventilation and efficiency of the central courtyard. This finding indicates that the ratio of the height of the central courtyard should be selected carefully and based on ventilation optimization in order to maintain optimal conditions of thermal comfort and natural ventilation efficiency in traditional spaces.

CONCLUSION: In traditional houses in the desert regions of Iran, the central courtyard plays a key role in improving ventilation and air conditioning. This study, using computer simulation using Design Builder software, investigated the effect of changing the height of the central courtyard on the speed and pattern of airflow in Golshan and Lari houses. The results of the study show that increasing the height of the courtyard to 2 meters increases the speed of airflow in the courtyard space, and decreasing the height by the same amount reduces the wind speed. However, with a further increase in height, i.e. to 4 or 6 meters, the speed of airflow decreases and the previous relationship is reversed; in other words, too high a height causes a loss of ventilation. The results also indicate that an excessive decrease in the height of the courtyard also causes the height of the surrounding spaces to reach an impractical or unsuitable level for habitation, and side effects such as reduced shade and increased temperature in the courtyard are created. Based on these findings, the appropriate height for the central courtyard in order to achieve optimal ventilation in the Golshan house is 9 meters and in the Lari house is 11 meters.

HIGHLIGHTS:

- Research method of a combined quantitative and qualitative type (experimental, simulation and research strategies) and modeling in Design Builder software.
- Investigation of changes in the height of the central courtyard in the air circulation and natural ventilation pattern.

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.; Omid, M.; Shirdel, A.H., (2025). Investigating the Effect of the Central Courtyard Structure on the Natural Ventilation of Traditional Houses in Yazd; Case Study: Lariha and Golshan Houses. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 16(1): 37-50.



<https://doi.org/10.30475/isau.2025.441169.2126>



https://www.isau.ir/article_247725.html



بررسی تأثیر ساختار کالبدی حیاط مرکزی در تهویه طبیعی خانه‌های سنتی یزد؛ نمونه موردی: خانه‌های لاری‌ها و گلشن

امید رهایی^{۱*}، میلاد امیدی^۲، امیرحسین شیردل^۳

۱. استادیار، گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مشخصات مقاله		چکیده
تاریخ ارسال	۱۴۰۲/۱۱/۱۳	حیاط مرکزی به عنوان عنصری بنیادین در خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران شناخته می‌شود که نقش موثری در تهویه مطلوب فضاهای مجاور خود دارد. مقاله حاضر در پی آن است که به بررسی ابعاد کالبدی حیاط مرکزی بپردازد و نسبت مناسبی برای آن بیاید. لذا این پژوهش که از نوع ترکیبی کمی و کیفی می‌باشد با استفاده از روش تجربی-آزمایشی، خانه های لاری ها و گلشن یزد در محیط نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی و مدلسازی شده است و بدین صورت سطح اثرگذاری عمق و ارتفاع در میزان تهویه طبیعی از طریق محاسبه الگوی گردش و سرعت باد در حیاط مرکزی این خانه ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داده است که تغییرات در عمق و ارتفاع حیاط، با فرض ثابت بودن طول و عرض آن، در الگوی گردش هوای حیاط مرکزی و متعاقباً تهویه طبیعی به شدت موثر است. در حیاط‌های نمونه پس از افزایش ۲ متری ارتفاع، رابطه‌ای مستقیم بین میزان ارتفاع حیاط با میزان سرعت باد وجود دارد اما بعد از اعمال تغییر ارتفاع به میزان ۴ متر و ۶ متر، رفتار باد تغییر پیدا می‌کند و با افزایش ارتفاع، سرعت باد در حیاط کاهش می‌یابد. در مجموع پس از تحلیل جریان هوا، ارتفاع مناسب حیاط مرکزی جهت عملکرد مطلوب تهویه طبیعی در خانه گلشن ۹ متر و در خانه لاری‌ها ۱۱ متر می‌باشد.
تاریخ بازنگری	۱۴۰۳/۰۳/۱۹	
تاریخ پذیرش	۱۴۰۳/۰۵/۱۰	
تاریخ انتشار آنلاین	۱۴۰۴/۰۶/۳۱	
واژگان کلیدی تهویه طبیعی حیاط مرکزی خانه لاری‌ها خانه گلشن خانه سنتی دیزاین بیلدر		

نکات شاخص

- روش تحقیق از نوع ترکیبی کمی و کیفی (راهبردهای تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی) و مدل‌سازی در نرم‌افزار Design Builder.
- بررسی تغییرات ارتفاع حیاط مرکزی در الگوی گردش هوا و تهویه طبیعی.

نحوه ارجاع به مقاله

رهایی، امید؛ امیدی، میلاد و شیردل، امیرحسین. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر ساختار کالبدی حیاط مرکزی در تهویه طبیعی خانه‌های سنتی یزد؛ نمونه موردی: خانه‌های لاری‌ها و گلشن، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۶(۱)، ۵۰-۳۷.

* نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۳۱۹۲۰۶۲

پست الکترونیک: o.rahaei@sru.ac.ir

مقدمه

در بسیاری از خانه‌های امروزی، بهره‌گیری از تهویه مطبوع مورد استفاده ساکنین است که بیشترین دلیل بهره‌مندی از آن بی‌اعتمادی به تهویه طبیعی می‌باشد (Koch-Nielsen, 2017). همچنین استفاده از سیستم‌های مطبوع به عنوان انتخاب نهایی مورد توجه قرار می‌گیرد. اما دیدگاهی بهتر و متعادل‌تر در گذشته وجود داشته است (Energy In-formation Administration, 1996). تهویه طبیعی می‌تواند جایگزینی کارآمد برای کاهش انرژی در ساختمان‌ها در جهت دستیابی و حصول آسایش حرارتی محسوب شود (Busch, 1992; Burge, 1992; Finnegan, Pickering, 1998). به گونه‌ای که هزینه‌های انرژی در یک ساختمان با سیستم تهویه طبیعی، حدود ۴۰ درصد کمتر از ساختمانی است که تهویه مطبوع دارد و این روش هوشمندانه مورد توجه معماران سنتی ایران بوده است (Rahaei, 2013). از آنجایی که حفظ و افزایش آرامش محیطی در معماری ایرانی جایگاه والایی دارد و این معماری به عنوان یکی از حکیمانه‌ترین سبک‌های معماری جهان است (Mehdinejad & Shirdel, 2023)، معماران در تلاش بودند با راهکارهای متفاوتی مانند بهره‌گیری از دیوارهای بلند، استفاده از خصوصیات عایقی مواد طبیعی مانند کاهگل، ساختن طاق‌ها، گنبد‌ها، بادگیر و حیاط مرکزی این مهم را برطرف سازند (Mahdavejad, 2004) تا جریان زیست در فضا همراه با آرامش نیز باشد (Mehdinejad and Shirdel, 2024). همچنین استفاده از جریان طبیعی هوا ابزاری جهت افزایش آسایش اقلیمی در معماری ایران محسوب می‌شود (Mahdavejad, 2011).

بنابراین بناها باید طوری طراحی شوند که با اقلیم و منابع انرژی موجود در محل احداث، هماهنگی داشته تا موجب برآورده شدن نیازهای روحی و جسمی ساکنان گردد (Asadpour et al., 2016). شهر یزد دارای خانه‌های سنتی بسیار است که مطابق با اقلیم آن طراحی شده‌اند و حیاط مرکزی به عنوان فضایی جهت تأمین نور، تهویه و هوای مناسب و ایجاد ارتباط درونی برای خانه‌ها محسوب می‌شود (Soltanzadeh, 2011; Mehdinejad and Shirdel, 2024). حیاط‌های مرکزی دارای تنوع زیادی بوده و در اقلیم‌های مختلف شکل‌های گوناگونی را به خود گرفته‌اند. ابعاد این حیاط‌ها عمدتاً متغیر است و با وجود شباهت ظاهری، تناسب دقیقی میان آن‌ها با توجه به الگوی گردش جریان هوای داخل حیاط وجود ندارد. براین اساس سؤالاتی که در اینجا مطرح می‌شود این است که:

۱- چه رابطه‌ای میان ابعاد کالبدی حیاط و الگوی گردش هوا در خانه‌های سنتی یزد وجود دارد؟

۲- ساختار کالبدی حیاط‌های مرکزی خانه‌های مورد بررسی چگونه موجب ایجاد تهویه مطلوب می‌شود؟

لذا یافتن ارتفاع مناسب جهت تهویه طبیعی و مطلوب نیز هدف این پژوهش می‌باشد.

پیشینه پژوهش

با بررسی مطالعات صورت گرفته می‌توان عنوان کرد که از اواخر دهه ۱۹۳۰ تلاش‌های زیادی در حوزه مهندسی تهویه صورت گرفته است (Burgess, 1995) که آگاهی و مطالعه جریانات هوای داخلی در محیط‌های بسته به ۳ دلیل مهم قابل بررسی است: ۱- کیفیت هوای داخل محیط، ۲- آسایش حرارتی و ۳- مصرف انرژی ساختمان (Amidpour, 2009). بنابراین جهت کاهش مصرف انرژی و عدم تخریب محیط‌زیست، بهره‌گیری از روش تهویه طبیعی نیز توصیه می‌گردد (Hassana, 2007)؛ چراکه بحران انرژی بر بسیاری از فعالیت‌های انسان سایه افکنده و طراحی معماری را به عنوان یکی از عوامل مهم در مصرف بالای انرژی با چالشی محکم و سخت مواجه کرده است (Yazdi et al., 2019). در تحقیقات انجام شده، محققان به بررسی وضعیت تهویه طبیعی در فضاهای آموزشی (Vassella et al., 2021; Aguilar et al., 2022; Rahaei & Azema-Yin, Liu, Zhang, 2019; ti, 2019)، فضاهای مسکونی (Schulze, Gurlich and Rahaei, 2020)، فضاهای اداری (Eicker, 2018; Indraganti and Boussaa, 2017; Indraganti, Ooka, Rijal and Brager, 2014; Nomura Om- and Hiyama, 2017)، ساختمان‌های چندطبقه (rani et al., 2017) و هندسه بالکن و بادگیر (Miller, Rismanchi and Garcia-Hansen, 2020; Jomehzadeh et al., 2020; Jomehzadeh et al., 2017)، پرداخته‌اند.

معماری بومی ایران خصوصاً در اقلیم گرم و خشک، الگوها و راهکارهای خردمندانه‌ای در زمینه پایداری ارائه کرده است (Pourmand & Rikhtega-ran, 2006: 43). اصولی که در مهیت منجر به آسایش محیطی کاربران نیز بوده است (Asadpour and Asadpour, 2014). عنصر حیاط در خانه‌های سنتی ایران را می‌توان به عنوان استراتژی موفقیت‌آمیز طراحی پایدار محسوب کرد (Zainlian & Okhvat, 2017). حیاط مرکزی عنصری وحدت دهنده و نظم دهنده جهت‌ها و ایجادکننده فضایی ایمن و محرم است (Ghobadian, 2012). در حالت کلی شرایط آسایش حرارتی انسان، متأثر از عواملی چون اقلیم، محیط، دمای هوا، رطوبت، تابش و سرعت باد است (Mu-haisen and Gady, 2006; Soltanzadeh, 2011: 69). که تهویه عاملی مهم و تعیین‌کننده در شکل‌گیری فضایی چون حیاط مرکزی در این معماری است (Kas-mai, 2013; Seflaei, 2005; Ahadi, 2013; Masoud-



inejad, 2015; Taban et al., 2013). از طرفی حیاط به عنوان عاملی ارتباط دهنده بین فضای زیستی با دیگر بخش‌ها (Soflaeit, 2017) از دو جنبه کارکردی و کاربردی قابل بررسی می‌باشد (Haeri Mazanda-rani, 2009: 107). بنابراین معماری ایرانی را می‌توان محصول تطبیق شرایط محیطی با سبک‌های زندگی و فرهنگی دانست (Mehdinejad and Shirdel, 2024; Vakilinejad, 2016)، معماری که از همان ابتدا نیز پایدار بوده است و به توسعه پایدار حتی در مقیاس شهری هم نیز توجه داشته است (Asadpour et al., 2016; Naghipour et al., 2025).

از این حیث در طراحی بناهای جدید می‌بایست؛ حفظ تعادل اکولوژیک اقلیم و طبیعت در رابطه با فعالیت‌های انسانی مد نظر قرار گیرد تا فعالیت‌های انسانی بر روی عناصر محیطی، کنترل گشته و کیفیت زندگی بهتر، تضمین گردد (Mahdinejad & Asad-pour, 2019; Asadpour & Habibi, 2015).

در جهت انجام و پیشبرد پژوهش‌های مرتبط در حوزه انرژی و علی‌الخصوص تهویه طبیعی و مطبوع، بهره‌گیری از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر رایج و مورد استقبال پژوهشگران است. این نرم‌افزار بر مبنای شرایط اقلیمی است و به وسیله آن می‌توان شرایط سیستم‌های تهویه و جریان هوا در ساختمان‌ها را شبیه‌سازی و بررسی نمود (Rahaei, 2024; Ra-haei, 2014; Ghanbaran and Hosseinpour, 2013; Heydari and Ghafari Jabbari, 2010; Amidpour, 2009; FathAlian and Kargar Sharifabad, 2019; SaadatiNasab et al., 2014; Azarbayjani, 2013; Poirazis, 2004; Hmaza, 2008; Torre and Yousif, 2014; Chung, 2014; Banhidi, 1991). به طوری که پسران و همکاران (Pesran et al., 2019) در پژوهشی با هدف یافتن الگوهای هندسی موثر در ارتقاء و تأمین حد آسایش انسان در خانه‌های سنتی شیراز با شبیه‌سازی خانه‌ها در دیزاین‌بیلدر به نتایج موثری رسیدند. همچنین در این راستا زارعی و میردهقان (Zarei and Mir Dehghan, 2016) و زینلیان و اخوت (Zainalian and Okhuwat, 2017) با بهره‌گیری از شبیه‌سازی خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک به اهمیت و تأثیر هندسه در الگوی تهویه طبیعی پرداختند.

شیری و همکاران (Shiri et al., 2017) با شبیه‌سازی گنبد آب انبارهای یزد به تأثیر فرم بر میزان سایه‌اندازی و تهویه طبیعی پرداختند.

صائی صفا و همکاران (Saebi Safa et al., 2019) در پژوهش خود به وسیله دیزاین‌بیلدر، به هدر رفت انرژی پرداختند که به کمک آن توانستند رفتارهای مختلف باد را در فضاهای گوناگون بررسی کنند. همچنین رهایی (Rahaei, 2014) در پژوهشی با عنوان

مدل‌سازی و تحلیل‌های دیزاین‌بیلدر به عملکرد تهویه و حرارت در محیط داخلی پرداخت و دودکش خورشیدی در خانه‌های تراس‌دار را به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش عملکرد تهویه طبیعی اعلام و عملکرد آن را بررسی کرد. همچنین رهسپارمنفرد و عظمتی (Rahsepar monfared & Azemati, 2021)، صفا و همکاران (Safa et al., 2019)، توکلی و همکاران (Moradi Tavakoli et al., 2015)، مرادی و همکاران (et al., 2018)، کسمایی (Kasmai, 2016) و میرسجادی و فرکیش (Mirsajadi & Farkish, 2016)، در تحقیقات خود که به بررسی تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی و تأثیرات عوامل موثر بر تهویه طبیعی در بنای مسکونی پرداخته‌اند، از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شبیه‌سازی استفاده نموده‌اند.

قابل ذکر است حزبئی و همکاران (Hezbaei et al., 2014) با بهره‌گیری از شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر به تهویه طبیعی در شوادان‌های خانه‌های شهر دزفول پرداختند که در این راستا مشابهاً بهار (Bahar, 2016) و قلعه‌نویی (Qale Nooi, 2012)، با بررسی و شبیه‌سازی بناهای معماری سنتی ایران به اهمیت الگوها و پایدار بودن معماری این سرزمین، تأکید کرده‌اند.

بر اساس پژوهش‌های بررسی شده در حوزه تهویه طبیعی، استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است و در جهت بررسی تهویه طبیعی، از روش‌های ارزیابی مختلفی استفاده شده است که مطابق پیشینه، در پژوهش حاضر از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و اعتبارسنجی با روش اندازه‌گیری میدانی جهت تحلیل تهویه طبیعی براساس مولفه‌های کالبدی حیاط مرکزی استفاده می‌شود.

روش پژوهش

این تحقیق که از نوع کمی و کیفی می‌باشد که جهت انجام آن از راهبردهای تجربی، آزمایشی و پژوهش موردی استفاده شده است. روش گردآوری اطلاعات شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات، برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری و شبیه‌سازی است. از آنجا که هدف پژوهش، بررسی بهبود و عملکرد تهویه طبیعی حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی ایران است، ابعاد حیاط مرکزی متغیر مستقل و الگوی گردش هوای داخل حیاط به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. جامعه آماری این پژوهش شامل خانه‌های دارای حیاط مرکزی در یزد و دو خانه لاری‌ها و گلشن یزد به عنوان نمونه‌های مورد مطالعه به شیوه غیر تصادفی هدفمند نیز انتخاب شده است. در ابتدا اندازه‌گیری میدانی متغیر وابسته (سرعت و جهت جریان هوا) به عنوان داده‌های اولیه و اعتبارسنجی شبیه‌سازی در یک دوره ۳۰ روزه، ۳ بار در روز (۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۳ بعدازظهر) در مردادماه و با استفاده از دستگاه 200kimo/v صورت گرفت. سپس داده‌های



Table 4. Quantitative structure study of Golshan House

		Space type	Area (m²)	Relative to the entire building (%)
Open space		Main yard	293/41	13/58
		Northeast Courtyard	193/57	8/96
		Small yard	58/88	2/73
		Total	545/86	25/27
Pure infrastructure	Closed space	Rooms (ground floor)	811/59	37/57
Gross infrastructure	Communication spaces	Hashti	15/19	0/7
		Inputs	65	3
		Corridors	345/71	19/72
		Total	425/9	19/72
Area of ground floor rooms			376/65	17/44

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

همگرایی نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های دیزاین‌بیلدر با برداشت‌های میدانی با دستگاه 200kimo/v به منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. برای این منظور، سرعت جریان هوای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های موردی، در فواصل مختلف با سرعت‌های جریان هوای پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شرایط مشابه و در فواصل یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. در برداشت میدانی، داده‌های مربوط به سرعت جریان باد، مقایسه اولیه‌ای بین چهار حیاط موجود در دو خانه (سه حیاط گلشن و یک حیاط خانه لاری‌ها) انجام شد (شکل‌های ۲، ۳، ۴، ۵). سرعت باد به ترتیب در حیاط اصلی خانه گلشن، حیاط خانه لاری‌ها، حیاط میانی خانه گلشن و حیاط کوچک خانه گلشن کاهش یافته است. همین روند در مدل شبیه‌سازی نیز وجود دارد که نشان‌دهنده انطباق اولیه بین داده‌های حقیقی و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

نتایج این مقایسه مطابق شکل ۱ نشان‌دهنده روندی مشابه است. به عنوان مثال میانگین سرعت باد در حیاط اصلی خانه گلشن در حالت برداشت میدانی به میزان ۱/۴ متر بر ثانیه و حیاط میانی آن ۰/۶۵ متر بر ثانیه بوده و این مقادیر در حالت شبیه‌سازی به ترتیب ۱/۱ و ۰/۵۸ متر بر ثانیه است. در این مطالعه، نتایج عددی که از طریق مقایسه نتایج به دست آمده از سرعت جریان هوا در حیاط‌های دو خانه است، نشان‌دهنده نزدیک بودن نتایج شبیه‌سازی به نتایج برداشت میدانی می‌باشد. با این حال اختلاف جزئی عددی موجود ناشی از وجود عناصر محیطی در حالت واقعی نظیر گیاه، مبلمان، انسان، حوض، آب و غیره است.

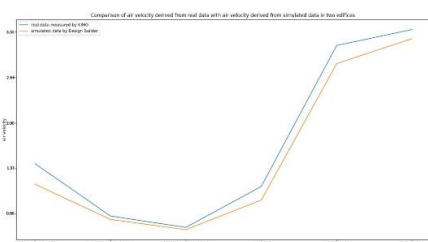


Fig. 1. Comparison of wind speed in field sampling with simulation software from the current situation

اندازه‌گیری شده و مدل سه‌بعدی نمونه‌های موردی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با هدف تحلیل الگوی گردش هوا در حیاط مرکزی شبیه‌سازی شد. در انتها اندازه متغیر ارتفاع حیاط مرکزی از طریق مداخله در شبیه‌سازی‌ها مورد سنجش قرار گرفت.

بررسی وضع موجود نمونه‌های موردی

اجزای اصلی خانه لاری‌ها، دو حیاط بزرگ و کوچک با مجموعه‌ای از ایوان‌ها، تالارها، اتاق‌ها و نیز یک سردر و هشتی است. این خانه در زمینی به مساحت ۲۳۷۹ مترمربع با سطح اشغال ۱۷۴۷ مترمربع (۷۳ درصد) در یک طبقه بنا شده است (جدول ۱ و ۲).

Table 1. Lariha House Design Pattern

Building orientation	Northeast-Southwest
Textural continuity	Dense
Internal plan divisions	Closed plan and central courtyard
How the building occupies the land	
Relationship between full and empty space	Porch and corridor
Distribution of full and empty spaces	

Table 2. Quantitative structure study of Lariha House

		Space type	Area (m ²)	Relative to the entire building (%)
Open space		Main yard	472	84/19
		Northeast Courtyard	131/5	5/53
		Small yard	27/72	17/1
		Total	631/22	53/26
Pure infrastr ucture	Closed space	Rooms (ground floor)	78/891	49/37
Gross infrastr ucture	Communic ation spaces	Hashti	30/55	1/28
		Inputs	28	18/1
		Corridors	71/459	19.32
		Total	26/518	21/78
		Area of ground floor rooms	74/337	14/2

خانه گلشن دارای سه حیاط، فضاهای مختلف بسته و نیم‌باز، دو ورودی و چندین فضای باز خدماتی است. دو حیاط شرقی و غربی و حیاط‌های بزرگ مجموعه هریک مرکز بخش مهمی از خانه هستند. این دو حیاط با قاعده‌ای مستطیل شکل تقریباً در چهار جهت اصلی، شمال، جنوب، شرق و غرب قرار گرفته‌اند. خانه گلشن در زمینی به مساحت ۲۱۶۰ مترمربع با سطح اشغال ۱۶۱۴ مترمربع (۷۴ درصد) و در یک طبقه بنا شده است (جدول ۳ و ۴).

Table 3. Golshan House Design Pattern

Building orientation	Northeast-Southwest
Textural continuity	Dense
Internal plan divisions	Closed plan and central courtyard
How the building occupies the land	
Relationship between full and empty space	Porch and corridor
Distribution of full and empty spaces	

فشار هوای ناشی از جریان باد در حیاط مرکزی

مهم‌ترین علت ایجاد جریان هوا و در امتداد آن تهویه مطبوع، اختلاف فشار بین مناطق پر فشار و کم فشار هواست که این گذاره نشان‌دهنده آن است که می‌بایست به چگونگی فشار اعمال شده بر بناها در اثر وزش باد توجه شود (شکل‌های ۶، ۷، ۸، ۹).

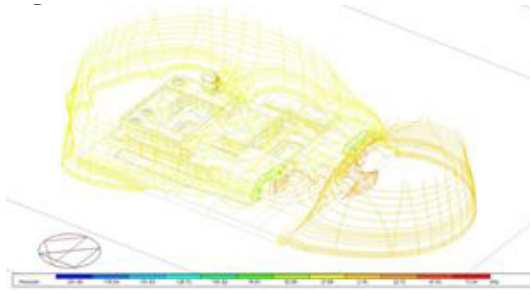


Fig. 6. Simulation of effective pressure due to wind on Golshan House



Fig. 7. Simulation of effective pressure due to wind on Golshan House (plan)

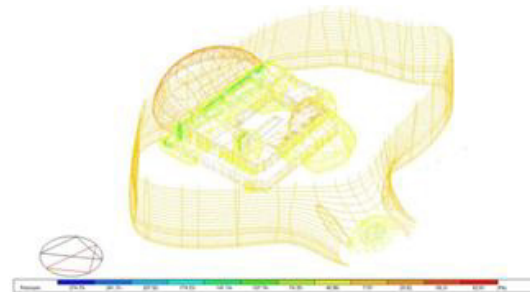


Fig. 8. Simulation of effective pressure due to wind in the Lariha house

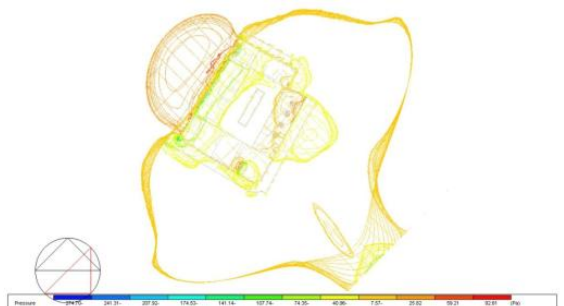


Fig. 9. Simulation of effective pressure due to wind in the Lariha house (plan)

همچنین ایجاد تهویه طبیعی در ساختمان به اختلاف فشاری که وزش باد در جداره‌های خارجی آن به وجود می‌آورند بستگی دارد و جریان هوای ایجاد شده در اثر اختلاف دمای سطوح مختلف یک ساختمان در فضای داخلی آن ناچیز و قابل اغماض است و عمدتاً فقط وزش باد در چگونگی

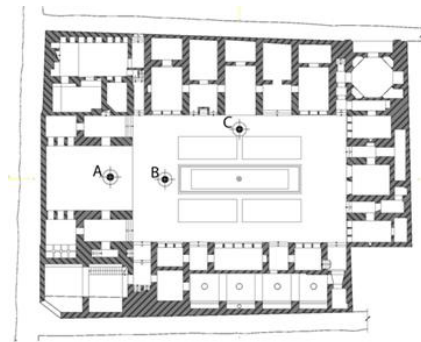


Fig. 2. Marked points in the Lares' house for measuring wind speed (point A on the summer house roof and points B, C inside the yard)

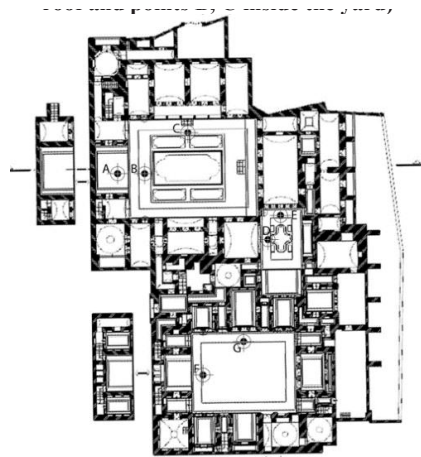


Fig. 3. Marked points in the Golshan house for measuring wind speed (point A on the summer roof and points B to G in the yard)

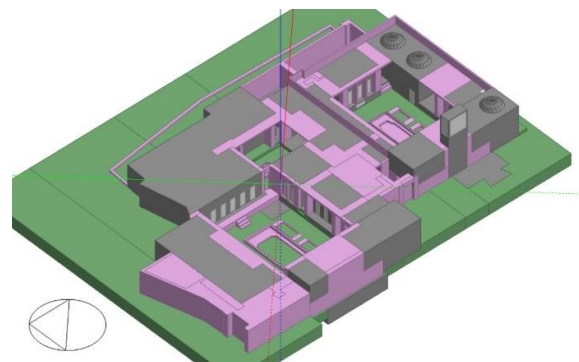


Fig. 4. Initial simulated model of the Golshan house

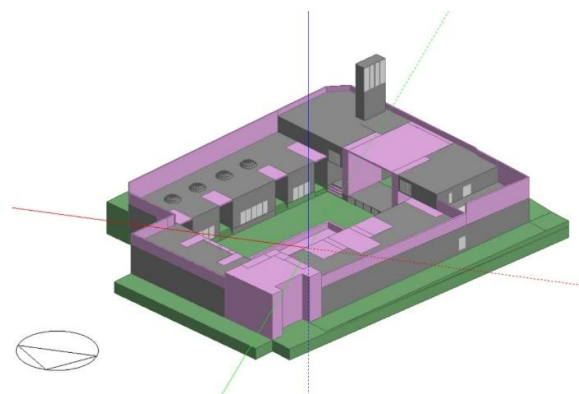


Fig. 5. Initial simulated model of the Lariha house

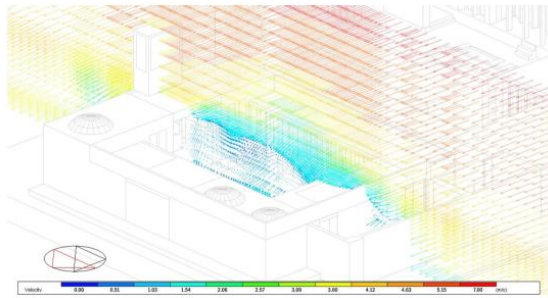


Fig. 13. Simulation of wind speed vector in a two-dimensional cross-section of the three-dimensional model of the Golshan house

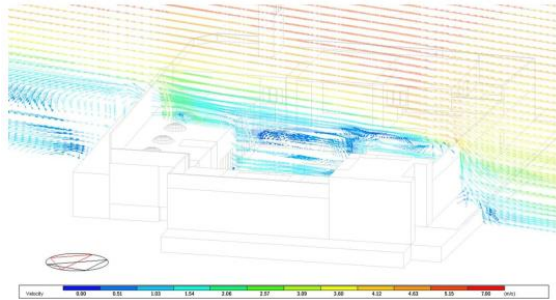


Fig. 14. Simulation of wind speed vector in a 2D cross-section of the 3D model of the Lariha house

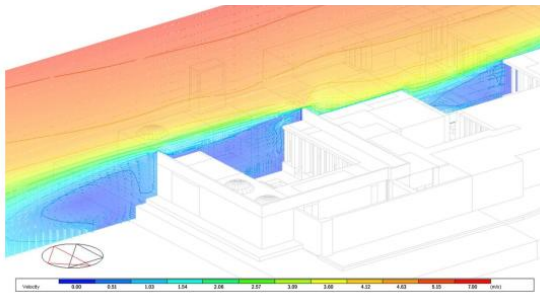


Fig. 15. Wind speed simulation in a 2D cross-section of the 3D model of the Golshan house

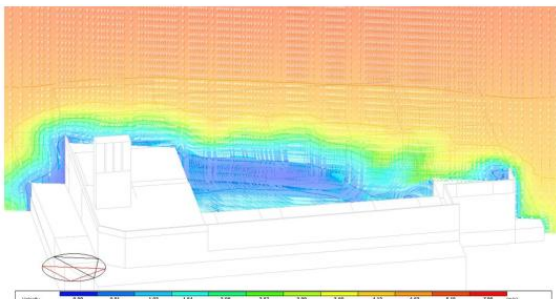


Fig. 16. Wind speed simulation in a two-dimensional cross-section of the three-dimensional model of the Lariha house

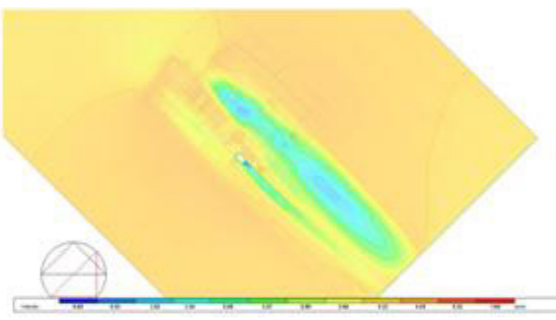


Fig. 17. Wind speed at the roof level of Golshan House

تهویه طبیعی و دمای هوای داخلی یک ساختمان و در نتیجه آسایش آن تأثیر می‌گذارد. با دقت در شکل‌های ۱۱ و ۱۰ مشاهده می‌شود که در وهله اول بعد از برخورد باد با جداره شمال غربی بنا در آن جداره فشار مثبت ایجاد شده و در جداره‌های دیگر فشار منفی خواهد بود و به همین ترتیب در حیاط‌های مرکزی نیز فشار منفی می‌شود که این اتفاق موجب ایجاد جریان مکش در حیاط‌ها شده و جریان هوا را به سمت داخل حیاط هدایت می‌کند.

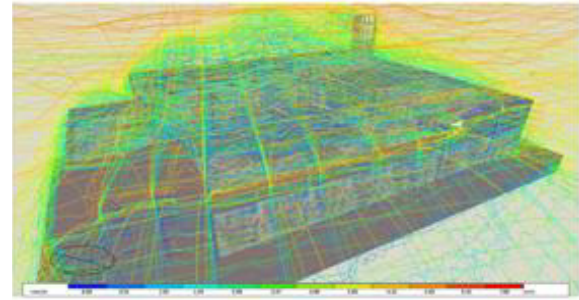


Fig. 10. Simulation of wind speed at the Lariha house

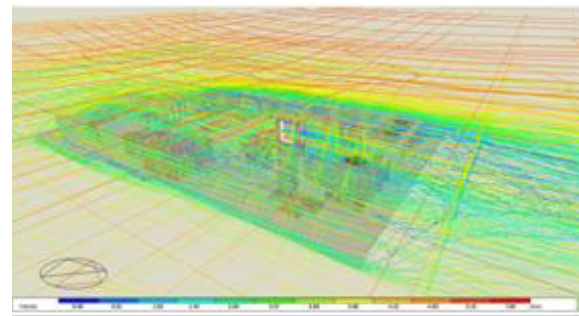


Fig. 11. Wind speed simulation at Golshan House

با دقت در مقطع از حیاط اصلی خانه لاری‌ها می‌توان حرکت جریان هوا را مشاهده نمود (جهت شماره ۱) (شکل ۱۲). عملکرد آن بدین ترتیب است که: سرعت جریان هوا در محل برخورد با بالاترین نقطه ارتفاعی حیاط کاهش می‌یابد و به پایین‌ترین حد خود می‌رسد (جهت شماره ۲). این اتفاق موجب ایجاد پدیده چرخش جریان باد می‌شود که جریان را معکوس می‌کند (جهت شماره ۳) و این اتفاق موجب هدایت جریان به داخل حیاط می‌شود (جهت شماره ۴). بر خلاف تصور که در نقاط بالاتر ارتفاعی حیاط، سرعت باد بیش‌تر است، در ارتفاع پایین‌تر نزدیک به سطح کف حیاط سرعت باد بیش‌تر است.

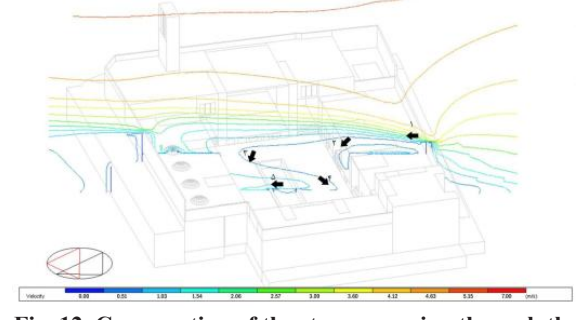


Fig. 12. Cross section of the stream passing through the yard of Lariha house



شکل ۲۱ در حیاط اصلی خانه گلشن با افزایش طول ارتفاع حیاط به میزان ۲ متر حداکثر سرعت به تدریج افزایش یافته و سرعت جریان هوا از ۱/۱ متر بر ثانیه به ۱/۲ متر بر ثانیه رسیده است. همچنین کاهش ارتفاع حیاط به میزان ۲ متر سرعت را به میزان ۰/۱۵ متر بر ثانیه کاهش می‌دهد. در خانه لاری‌ها با افزایش ۲ متری ارتفاع حیاط باعث افزایش ۰/۱ متر بر ثانیه سرعت جریان هوا و همچنین کاهش ارتفاع حیاط به همان اندازه سرعت جریان هوا را ۰/۸۶ به ۰/۷۳ متر بر ثانیه تقلیل داده است. پس از مشاهدات اولیه و نتایج منتج از آن که افزایش ارتفاع حیاط باعث افزایش سرعت باد می‌شود، به شبیه‌سازی در مرحله بعدی پرداخته شده است زیرا این نتیجه بر خلاف انتظار در این مرحله ارتفاع حیاط وضع موجود در ابتدا به میزان ۴ متر و سپس ۶ متر افزایش یافته نتایج ثبت شد، سپس در مرحله بعدی و در مرحله بعدی ارتفاع حیاط وضع موجود با کاهش ۴ متری و سپس ۶ متری روبرو شده است. شکل ۲۱ نشانگر روند تغییر سرعت باد در مرحله اولیه شبیه‌سازی بعد از اعمال متغیر ارتفاع به میزان ۲ متر کاهش و افزایش است. در حالت اولیه ارتفاع تمامی حیاط‌های خانه گلشن قریب به ۷ متر است که بعد از اعمال تغییر به دو اندازه ۵ متر و ۹ متر رسیده‌اند.

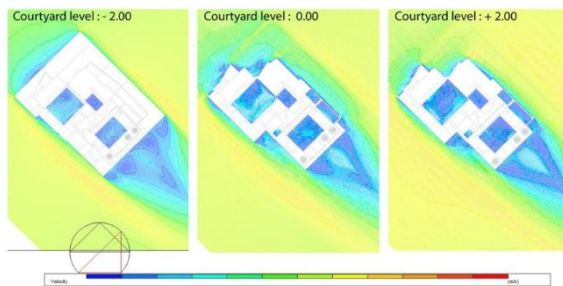


Fig. 21. Examination of the altitude change parameter in the Golshan house and its effect on air speed

در بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیر ارتفاع در حیاط اصلی خانه گلشن طبق شکل ۲۲، مشاهده می‌شود که با افزایش قریب به ۳۰ درصدی ارتفاع (افزایش ۲ متری) سرعت باد به میزان ۹ درصد افزایش یافته است. همچنین با کاهش قریب به ۳۰ درصدی ارتفاع (کاهش ۲ متری)، سرعت باد به میزان ۱۲ درصد کاهش یافته است. بر این اساس مشخص می‌شود که بین افزایش ارتفاع و افزایش سرعت باد در حیاط اصلی خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

همچنین تاثیر متغیر ارتفاع در حیاط میانی خانه گلشن طبق شکل ۲۳ مشاهده می‌شود که با افزایش قریب به ۳۰ درصدی ارتفاع (افزایش ۲ متری) سرعت باد به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته است. همچنین با کاهش قریب به ۳۰ درصدی ارتفاع (کاهش ۲ متری)، سرعت باد به میزان ۲۸٫۵ درصد کاهش یافته است. بر این اساس مشخص می‌شود که بین افزایش ارتفاع و افزایش سرعت باد در حیاط میانی خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

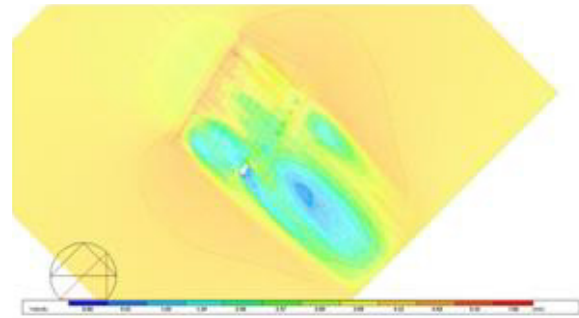


Fig. 18. Wind speed at the roof level of the Lariha house

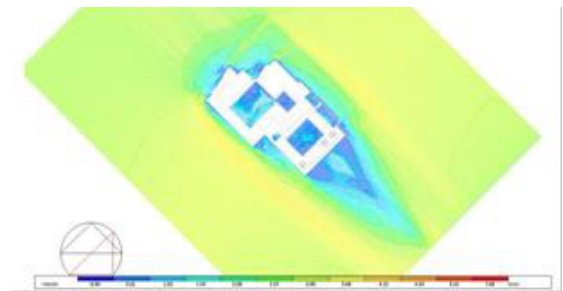


Fig. 19. Wind speed at a height of two meters above the surface of the Golshan house yard

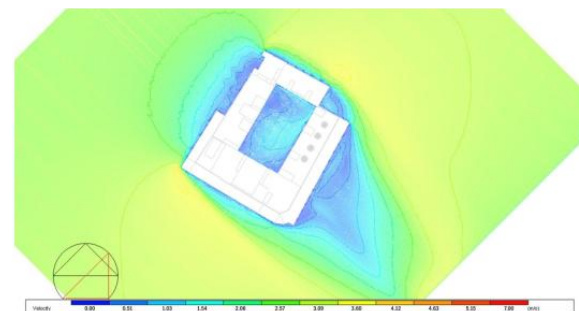


Fig. 20. Wind speed at a height of two meters above the surface of the Lariha yard

یافته‌ها و بحث

بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد عملکرد تهویه و سرعت جریان هوا در حیاط مرکزی به سبب تعدد پدیده‌های تاثیرگذار بر آن‌ها بسیار پیچیده است. حوض آب، گیاهان، هندسه لبه بام، پدیده‌های جوی نظیر بارندگی و صاف بودن آسمان و غیره همگی بر عملکرد تهویه تاثیر گذارند که دانسته در این پژوهش از آنها صرف نظر شده است و پارامتر ارتفاع حیاط مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش سرعت جریان هوا در ارتفاع‌های مختلف با هم مقایسه شده است. ابتدا ارتفاع سطح وضع موجود خانه‌های با افزایش ۲ متری و در مرحله بعدی با کاهش ۲ متری ارتفاع شبیه‌سازی شدند. در این مرحله از شبیه‌سازی و بررسی سرعت هوا در شکل‌های (۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۶) که مقایسه سه حالت وضع موجود، کاهش و افزایش ۲ متری ارتفاع می‌باشد، افزایش سرعت را در حالت افزایش ارتفاع نشان می‌دهد. به این معنا که در حیاط‌های مرکزی با افزایش ارتفاع ۲ متری (یا به عبارتی گودتر شدن حیاط مرکزی)، سرعت هوا به صورت نه چندان چشم‌گیری افزایش می‌یابد. به طوری که مطابق

همچنین قابل ذکر است با توجه به شکل ۲۶ تأثیر متغیر ارتفاع در حیاط خانه لاری‌ها نشان داده است که با افزایش ارتفاع به ۲۲ درصدی ارتفاع (افزایش ۲ متری)، سرعت باد به میزان ۱۱ درصد افزایش یافته است. همچنین با کاهش ارتفاع به ۲۲ درصدی ارتفاع (کاهش ۲ متری) سرعت باد به میزان ۱۵ درصد کاهش یافته است. بر این اساس مشخص شده است که بین افزایش ارتفاع و افزایش سرعت باد در حیاط میانی خانه لاری‌ها رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

مطابق شکل ۲۹ علی‌رغم آنکه با افزایش اولیه ارتفاع به میزان ۲ متر سرعت جریان هوا افزایش می‌یابد، اما با افزایش ارتفاع به میزان ۴ متر و سپس ۶ متر سرعت به شدت کاهش یافته به گونه‌ای که با افزایش ۶ متری ارتفاع حیاط (فرو رفتن حیاط به میزان ۶ متر) سرعت باد تقریباً به صفر می‌رسد و همین‌طور طبق شبیه‌سازی متغیر ارتفاع در مرحله اولیه با کاهش ارتفاع حیاط به میزان ۲ متر سرعت باد کاهش می‌یابد ولی در مراحل بعدی با کاهش ارتفاع حیاط به میزان ۴ متر و سپس ۶ متر سرعت باد به میزان زیادی افزایش یافته است؛ به طوری که با افزایش ۶ متری آن، میانگین سرعت باد در داخل حیاط مرکزی تقریباً برابر با سرعت هوای بیرون بنا می‌شود.

نتیجه‌گیری

حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی شهرهای کویری ایران، نقش بسیار مهمی در تلطیف و تهویه مطلوب دارد. در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی، می‌توان اثر تغییر پارامترها را بدون اینکه در عمل نیاز به انجام باشد، بررسی کرد از این حیث، از نرم‌افزار دیزاین‌یلدر استفاده شده تا تأثیر متغیر ارتفاع حیاط مرکزی در الگوی جریان هوای خانه‌های گلشن و لاری‌ها بررسی شود. نتایج داده‌های پژوهش نشان می‌دهد که در تمامی حیاط‌ها بعد از افزایش ۲ متری ارتفاع، رابطه‌ای مستقیم بین میزان ارتفاع حیاط با میزان سرعت باد وجود دارد. به عبارتی هرچه عمق حیاط بیشتر باشد سرعت باد نیز بیشتر خواهد شد و همچنین با کاهش ارتفاع به میزان ۲ متر سرعت باد نیز کاهش می‌یابد. اما بعد از انجام مداخلات و اعمال تغییر ارتفاع به میزان ۴ متر و ۶ متر، رفتار باد تغییر پیدا می‌کند و بدین صورت که با افزایش ارتفاع، سرعت باد کاهش می‌یابد و بالعکس. همچنین با توجه به ارتفاع فعلی دیوار خانه گلشن که ۷ متر می‌باشد، وقتی ارتفاع حیاط ۴ متر کاهش یابد، ارتفاع فضاهای اطراف حیاط به ۳ متر می‌رسد و با کاهش ۶ متری ارتفاع فضاهای اطراف به ۱ متر می‌رسد. بنابراین ساخت فضاهایی با ارتفاع ۱ متری عملاً غیرممکن است و فضاهای با ارتفاع ۳ متری بنابر ملاحظات اقلیمی دیگر (مثل کاهش میزان سایه‌اندازی در این وضعیت و افزایش دمای حیاط) گزینه مناسبی به نظر نمی‌رسد. بنابراین ارتفاع مناسب جهت تهویه مطلوب در خانه گلشن ۹ متر و در خانه لاری‌ها ۱۱ متر پیشنهاد می‌شود (شکل ۳۰).

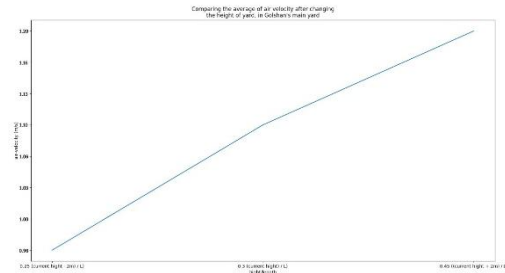


Fig. 22. Effect of altitude on air speed in the large courtyard of Golshan House

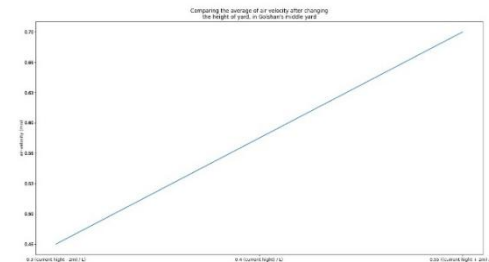


Fig. 23. Effect of altitude on air speed in the middle courtyard of Golshan House

در بررسی تأثیر متغیر ارتفاع در حیاط کوچک خانه گلشن طبق شکل ۲۴ مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع به ۳۰ درصدی ارتفاع (افزایش ۲ متری)، سرعت باد به میزان ۷/۵ درصد افزایش یافته است و با کاهش ارتفاع به ۳۰ درصدی ارتفاع (کاهش ۲ متری)، سرعت باد به میزان ۱۵ درصد کاهش یافته است. بر این اساس مشخص می‌شود که بین افزایش ارتفاع و افزایش سرعت باد در حیاط کوچک خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

شکل ۲۵ نشانگر روند تغییر سرعت باد بعد از اعمال متغیر ارتفاع است. در حالت اولیه ارتفاع حیاط خانه لاری‌ها تقریباً به ۹ متر است که بعد از اعمال تغییر به دو اندازه ۷ متر و ۱۱ متر رسیده‌اند

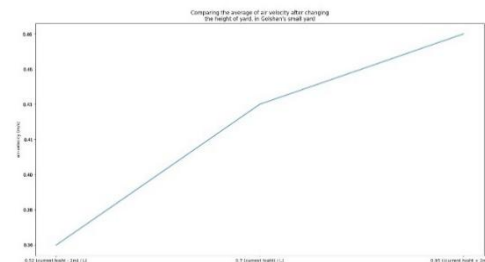


Fig. 24. Effect of altitude on air speed in the small courtyard of Golshan House

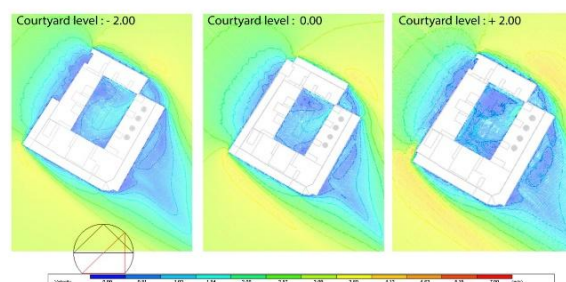


Fig. 25. Examining the height change parameter in the Lariha house and its effect on air speed

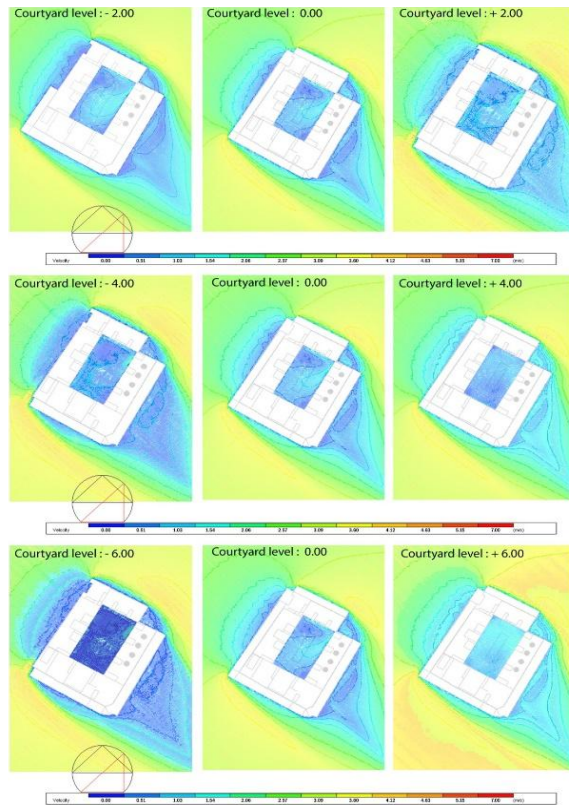


Fig. 28. Examining the height change parameter in the Lariha house and its effect on air speed

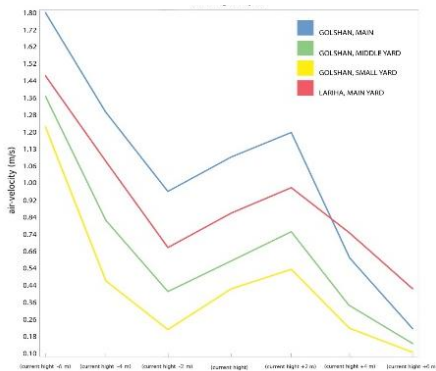


Fig. 29. Effect of altitude on the trend of air speed in the courtyards of Golshan House and Lariha House

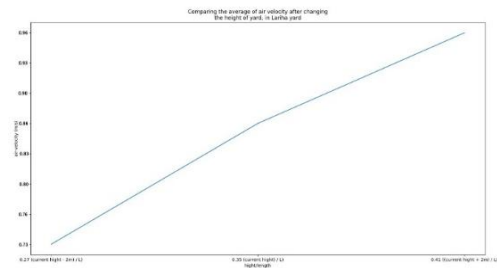


Fig. 26. Effect of altitude on air speed in the middle courtyard of the Lariha house

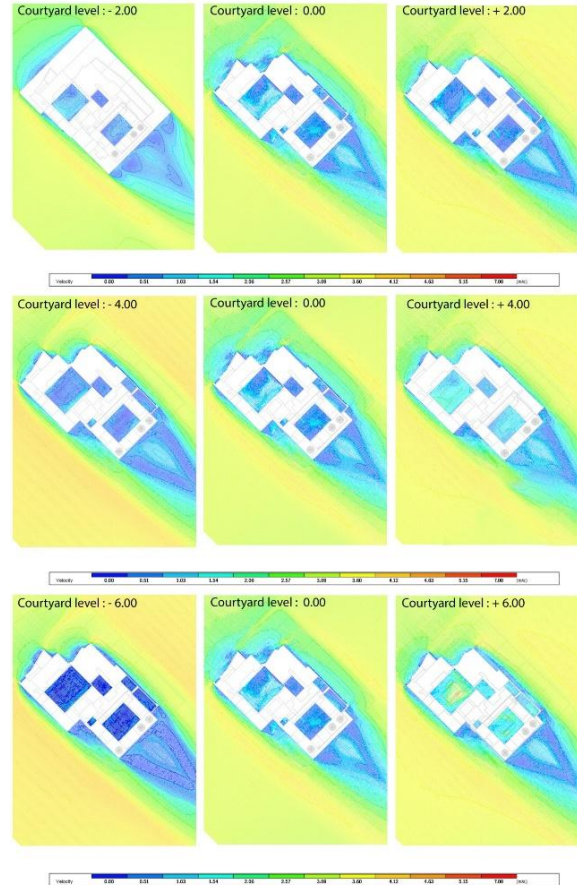


Fig. 27. Examining the altitude change parameter in Golshan House and its effect on air speed

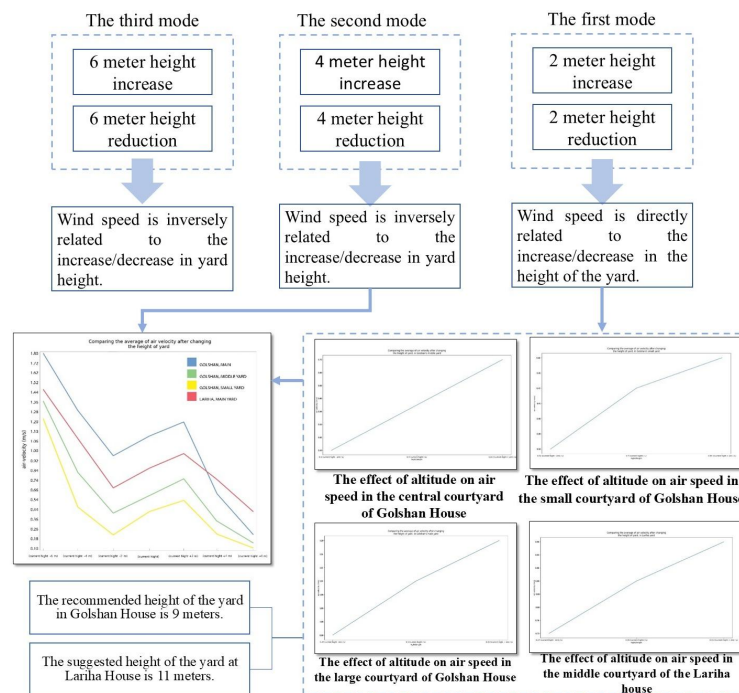


Fig. 30. Summary of the effects of altitude on natural ventilation

اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی / حمایت‌ها

این مقاله حامی مالی و معنوی نداشته 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.

References

1. Aguilar, A.J., de la Hoz-Torres, M., Costa, N., Arezes, P., D. Martínez-Aires, M., Ruiz, D.P., (2022). Assessment of ventilation rates inside educational buildings in Southwestern Europe: Analysis of implemented strategic measures. *Journal of Building Engineering*. 51, 104204.
2. Amidpour, Majid. (2009). Investigating the effects of using chimneyless heaters on indoor air quality, Research project, Khajeh Nasir al-Din Tusi University, Faculty of Mechanics, Client: Iran Fuel Consumption Optimization Company. [In Persian].
3. Asadpour, F, Asadpour, A.(2014). Optimization of Energy Consumption Using Solar Bath in the Hot and Dry Climate of Iran, *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*,3(3),40-49.
4. Asadpour, F., Khastoo, S., Rezaeian Fard, M.H., (2016). Using wind turbines in high-rise buildings in the development of sustainable architecture (case study: Kish Island). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 1069-1084.
5. Asadpour, F., Shirdel, A. H., & Naghipour, P. (2024). Evaluation of perceptual indicators of physical environment affecting the inducement of citizen's sense of place in urban neighborhoods. *Energy and Buildings*, 325, 114992.
6. Asadpour, F., Habibi, A., (2015). Strategies for climatic design for sustainable urban housing development (case study of Nur City, mazandaran, Iran). *Cumhuriyet Science Journal (Fen Bilimleri Dergisi)*, 36(6), 653-664.
7. Azarbayjani, M., (2013). Comparative Performance Evaluation of a Multistory Double Skin Façade Building in Humid Continental Climate. *The Visibility of Research, UNCC*.
8. Bahar, Ali. (2016). Natural ventilation and cooling using the values of traditional Iranian architecture, Third International Conference on Research in Science and Technology, Berlin-Germany.[In Persian].
9. Banhidi, L.J., (1991). Radiant Heating Systems-Design and Applications, *Pergamon Press*.
10. Burgess, W.A., (1995). Recognition of Health-Hazards in Industry. *New York: Wiley Ltd*.
11. Chung, L.P., Ahmad ,M.H.,Ossen ,D.R., Hamid, M ., (2015). Effective solar chimney cross section ventilation performance in Malaysia terraced house. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, V.179, 276-289.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی 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



23. Indraganti, M., Boussaa, D. (2017). Comfort temperature and occupant adaptive behavior in offices in Qatar during summer. *Energy and building*. 150, pp23-36.
24. Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H.B., Brager, G.S., (2014). Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. *Building and Environment Journal*. 74, 39-53.
25. Izadyar, N., Miller, W., Rismanchi, B., Garcia-Hansen, V. (2020). A numerical investigation of balcony geometry impact on single-sided natural ventilation and thermal comfort, *Building and Environment Journal*. V. 177, 106847.
26. Jomehzadeh, F., Hussien, H.M., Calautit, J.K., Nejat, P., Ferwati, M.S. (2020). Natural ventilation by windcatcher (Badgir): a review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. *Energy and Buildings*. 226, 110396.
27. Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J.K., Yusof, M.B.M., Zaki, S.A., Hughes, B.R., Yazid, M.N.A.W.M. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 70, 736-756.
28. Kasmaei, Morteza. (2013). Climate and Architecture. Tehran, Khak Publishing.[In Persian].
29. Kasmaei, Morteza. (2016). Climate and Architecture. Tehran: Khak Publishing.[In Persian].
30. Koch-Nielsen, Halger. (2017). Natural Ventilation: A Guide to Climate Design for Hot Regions, Translated by Ahmadinejad, Mohammad, Khak Publishing.[In Persian].
31. Mehdinejad, Jamal-edin and Shirdel, Amir Hossein. (2024). Analysis and ranking of factors affecting sustainable housing design in the cold and dry climate of Sabzevar based on energy consumption optimization, *Sustainable Architecture and Environment Journal*, Volume 2, Issue 6.[In Persian].
32. Mehdinejad, Jamal-edin and Shirdel, Amir Hossein. (2024). The wisdom of Iranian housing architecture based on energy consumption optimization, First and Last Publications, Tehran.[In Persian].
33. Mehdinejad, Jamal-edin and Shirdel, Amir Hossein. (2024). Identity Elements of Iranian House Architecture, First and Last Publications, Tehran. [In Persian].
34. Mirsajadi, Seyed Amir, Farkish, Hiro. (2016). Evaluation of patterns and recognition of effective physical factors in the architecture of historical houses of Neyshabur to achieve design solutions and house construction patterns in traditional residential context. *Islamic Architecture Research*. Volume 4, Issue 4, 72-92.[In Persian].
35. Moradi, Sasan; Matinrad, Mehrdad; Fayyaz, Rima; Dehbashi Sharif, Mazin. (2018). Typology of Traditional Courtyard Houses in Tabriz Based on Physical Criteria Effective on the Climatic Performance of the Central Courtyard, *Urban Management Journal*, Volume 17, Issue 51, 87-105.[In Persian].
36. Naghipour, Peyman, Naghipour, Afshin, Shirdel, Amir Hossein, Zanganeh Behzadi, Sara, Rahaei, Omid, Salamati, Samaneh.(2025). Sustainability in Historical Islamic Architecture: Lessons from Sheikh Lotfollah Mosque's Construction Techniques, *Journal of Islamic Architecture*, 8(3), 585-603.
37. Nomura, M., Hiyama, K. (2017). A review: natural ventilation performance of office buildings in Japan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 74, 746-754.
38. Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., Drogemuller, R. (2017). Natural ventilation in multi-storey buildings: design process and review of evaluation tools. *Building and Environment*. 116, 182-194.
39. Pesaran, Arash, Kariminia, Shahab, Nazemi, Elham and Toghiani, Shirin. (2019). Recognizing the role of paimon in the design of traditional houses from the perspective of static cooling (Case study: Qajar houses in Shiraz) *Bi-Quarterly Journal of Architectural Thought*, Year 3, Issue 6, 160-174. [In Persian].
40. Poirazis, H. (2004). Double Skin Facades for Office Buildings: Literature review, Report EBD-R-04/3, *Department of Construction and Architecture, Lund University*.
41. Pourmand, Hassan Ali; Riteshgaran, Mohammad Reza. (2006). The Truth of Place and Space in Architecture, *Islamic Art Studies*, Spring and Summer, Issue 4, 43-60. [In Persian].
42. Rahai, Omid, Salehi, Sedighe Sadat and Shirdel, Amir Hossein. (2024). Improving the natural ventilation in the classrooms of Masjed Soliman schools based on the condition of the openings and external shading blades using the CFD method. *Sustainable Architecture and Urbanism Journal*, Volume 12, Issue 1. [In Persian].
43. Rahai, Omid. (2013). Cultural identity and its effects on indigenous methods of natural ventilation of the old market of Dezful, *Rasteh Sanat-garan*. Bagh Nazar, 10(24), 39-46. [In Persian].
44. Rahai, Omid. (2014). Investigation of the process of indoor air flow and its analytical models in small industrial sheds using the CFD method, *Sustainable Architecture and Urbanism Journal*, Volume 2, Issue 2, Fall and Winter, 55-64. [In Persian].
45. Rahai, Omid. (2021). Investigating the physical changes of central courtyards on their air flow patterns in Qajar-era houses in Isfahan using CFD method (case study: Labaf House), *Journal of Architecture and Sustainable City*, 9(2), 25-46.[In Persian].
46. Rahai, Omid; Azmati, Hamid Reza. (2019). Improving the quality of natural ventilation in school classrooms in Mazandaran province based on the condition of openings using CFD method, *Journal of Architecture and Urban Planning of Iran (JIAU)*, 11(1), 57-71. [In Persian].
47. Rahspar Monfared, Reza; Azmati, Saeed. (2021). Analysis of wind behavior in natural ventilation and reduction of energy consumption in a residential building based on vernacular architecture, case study: The effect of opening dimensions

- and placement on natural ventilation in the city of Amol, Arman Shahr Architecture and Urban Planning Journal, Volume 14, Issue 35, 103-114. [In Persian].
48. Rouhi, S, Valibeig, V, Khodayari Mafi, M, Shirdel, A. (2024). Retrieve Khaju Bridge Architecture and Surrounding Landscape and Environment based on Visual and Descriptive Documents, Journal of Revitalization School, 2(3), 36-47.
 49. Saadati Nasab, Mehran; Zolfaghari, Seyed Ali-reza; Norouzi Jajarm, Elahe; Moslehi, Hamed. (2014). Analysis of the Effects of Using Double-Skin Facade as a Solution on Energy Conservation in Iranian Residential Buildings Using DesignBuilder Software, Third International Conference on New Approaches in Energy Conservation, Iran. [In Persian].
 50. Saebi Safa, Bahar; Heydari, Fatemeh; Soleymanpour, Negar. (2019). Auditing the amount of energy loss through the external walls of the building and the effect of thermal insulation with simulation in DesignBuilder software (Case study: Office building in Tehran), Journal of Science and Engineering Elites, Volume 5, Issue 3, 169-179. [In Persian].
 51. Saflaei, Farzaneh. (2005). The Environmental Impact of the Central Courtyard in Sustainable Residential Architecture in Hot and Dry Areas of Iran, PhD Thesis in Architecture, supervised by Dr. Seyed Majid Mofidi Shemirani, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch. [In Persian].
 52. Schulze, T., Gürlich, D., Eicker, U. (2018). Performance assessment of controlled natural ventilation for air quality control and passive cooling in existing and new office type buildings. *Energy and Buildings*. 172, 265-278.
 53. Shirdel, Amir Hossein, Mehdinejad, Jamal al-Din. (2024). Explaining the principles of smart housing architecture with the aim of reducing the use of non-renewable energy in order to preserve the environment, Journal of New Research, Volume 4, Issue 4. [In Persian].
 54. Shirdel, A., Aasdpour, F., Rahaei, Omid. (2025). Manifestation of Islamic Teachings in the Design of Tranquil Homes (Case Study: Aldaghi and Jafarzadeh Houses in Sabzevar), Architectural Technologies Studies, 16(2).
 55. Shiri, Tohid, Dideban, Mohammad and Taban, Mohsen. (2018). The effect of form on the amount of shading and heat absorption in the dome of Yazd water reservoirs, Quarterly Journal of Islamic Architecture Research, Volume 7, Issue 25, 75-92. [In Persian].
 56. Soflaei, F., Shokouhian, M., Zhu, W. (2017). Socio-environmental sustainability in traditional courtyard houses of Iran and China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V.69, 1147-1169.
 57. Soltanzadeh, Hossein. (2011). The role of geography in the formation of courtyard types in traditional Iranian houses, Journal of Human Geographical Research, Volume 43, Issue 1, Serial 75, 69-86. [In Persian].
 58. Soltanzadeh, Hossein. (2016). Tabriz: Solid Brick in Iranian Architecture, Tehran, Cultural Research Office Publication. [In Persian].
 59. Sources:
 60. Taban, Mohsen; Pourjafar, Mohammad Reza; Bemanian, Mohammad Reza; Heydari, Shahin (2013). Determining the optimal pattern of the central courtyard in traditional Dezful housing based on the analysis of the received shadow of different levels of the courtyard, Bagh-e-Nazar, Volume 10, Issue 27, 39-48. [In Persian].
 61. Tavakoli, Seyed Mostafa; Baghaei, Abdullah; Safari, Hossein. (2015). Simulation of building facade openings on energy consumption by DesignBuilder software (Case study: Anzali rural house), Second International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Istanbul, Türkiye. [In Persian].
 62. Vakilinejad, Rosa. (2016). The combined effect of physical characteristics of the building envelope and natural ventilation patterns on energy consumption in residential buildings (a case study of one-way ventilation buildings in the hot and dry climate of Shiraz), PhD thesis, supervised by Dr. Majid Mofidi and Dr. Fatemeh Mehdizadeh Seraj, Iran University of Science and Technology. [In Persian].
 63. Vassella, C.C., Koch, J., Henzi, A., Jordan, A., Waeber, R., Iannaccone, R., Charri'ere, R. (2021). From spontaneous to strategic natural window ventilation: improving indoor air quality in Swiss schools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 234, 113746.
 64. Yazdi, Yasman; Mofidi Shemirani, Seyed Majid; Etesam, Iraj. (2019). Design criteria in the structure of the central courtyard and summer hall of Qajar houses in Yazd, Journal of Islamic Art Studies, Volume 15, No. 34, 93-111. [In Persian].
 65. Yin, H., Liu, C., Zhang, L. (2019). Measurement and evaluation of indoor air quality in naturally ventilated residential buildings, *Indoor Built Environment journal*. No13, p.1-17.
 66. Zainlian, Nafiseh and Okhuvat, Hanieh. (2017). The architecture of the courtyard in Qajar houses in hot and dry and hot and humid climates with a focus on the central courtyard type (case study: Yazd and Dezful houses, Iranian-Islamic City Studies, Volume 8, Issue 30, 15-29. [In Persian].
 67. Zainlian, Nafiseh; Ahvoat, Hanieh. (2017). The Structure of the Courtyard in Qajar Houses in Hot and Dry and Hot and Humid Climates with a Focus on the Central Courtyard Type (Case Study: Yazd and Dezful Houses), Journal of Iranian Islamic City Studies, Volume 8, Issue 30, 15-29. [In Persian].
 68. Zarei, Mohammad Ebrahim and Mir Dehghan, Fadlallah. (2016). The role of the central courtyard pattern in moderating the harsh conditions of the hot and dry climate of the Yazd region, Iranian-Islamic City Studies, Volume 6, Issue 23, 5-18. [In Persian].

