ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2021;11(3):16-32

Analysis of Performance of Three Wind-catchers for Ventilation of Contemporary Houses in Isfahan- Hot and Arid Climate

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors
Asma Hojati [1*]
Mahdi Saedvandi[2]
Enrico De Angelis[3]

How to cite this article

Hojati A, Saedvandi M, De Anjelis E. Analysis of Performance of Three Wind-catchers for Ventilation of Contemporary Houses in Isfahan Hot and Arid Climate. *Naqshejahan*. 2021 Nov 10; 11(3):16-32.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.3.7.4

1. Department of Architecture, Faculty of Architecture and urbanism, Art University of Isfahan, Iran.
2. Department of Architecture, Faculty of Architecture and urbanism, Art University of Isfahan, Iran.
3. Politecnico di Milano, Department of Architecture, Construction Engineering and Built Environment-Milan, Italy.

**Correspondence*
Address: Department of Architecture, Faculty of Architecture and urbanism, Art University of Isfahan, Iran.
Phone: +8146834615

Article History
Received: 17 May 2021
Accepted: 22 Jun 2021
ePublished: 10 Nov 2021

ABSTRACT

Aims: Wind Catchers, as a traditional method of cooling, are compatible with the environment, on the one hand, and reduce energy consumption which is a major global challenge, on the other hand. This study evaluates the thermal and ventilation performance inside different floors of a four-story residential building by using three one-sided, two-sided, four-sided wind catcher models in hot and dry weather in open window mode.

Materials & Methods: The analysis by computer modeling or computational fluid dynamics (CFD) to evaluate the cooling potential and flow rate during the summer solstice.

Findings: The results show that one-sided wind catchers are not efficient due to the low average inlet air and the negative airflow in the central shaft. Two-sided wind catchers have a positive airflow rate in the warm months, but a four-story building, cannot have the amount of air needed for ventilation on the first and second floors. Among three samples, the simulated four-sided Wind Catchers model has higher refrigeration power and optimal efficiency because it can provide airflow with appropriate speed and volume for the first to fourth floors.

Conclusion: Among the three wind catcher modeled in software, it has been determined that only the four-way model can have the necessary efficiency to perform ventilation in different floors. designers can design an optimized design and a building that is more compatible with natural ventilation to provide comfort for residents, according to some special points for the use of wind catchers.

Keywords: Wind-catcher, Natural ventilation, Energy efficiency, Contemporary architecture, New technologies, Sustainability

CITATIONLINKS

[1] Conceptual approach in Persian architecture. [2] Discourse of High-Performance Architecture… [3] High-Performance Architecture… [4] Data mining and content analysis of the jury… [5] Contemporary architecture of Iran. [6]Learning Traditional Architecture for Future… [7] Assessment of design parameter influence… [8] The impact of Iwan as a traditional shading device… [9] Dilemma of green and pseudo green architecture… [10] Designerly Approach to Energy Efficiency… [11]Designing a passive-cooling, sustainable windcatcher… [12]Comparison of Thermal Comfort Range… [13]Improving the suitability of selected thermal… [14] Biocomputational Architecture Based… [15] Techno-economic analysis and energy performance… [16] Investigation of troglodytic architectural adaptation… [17] Prioritizing for Healthy Urban Planning… [18] Technology of Modern Windcatchers… [19] The Investigation, Classification, and Prioritization… [20] A dynamic vertical shading optimisation to improve… [21] Defining Sustainability Characteristics… [22] Thermal and energy performance of algae bioreactive… [23] Probable cause of damage to the panel… [24] Impacts of High-Rise Buildings Form on Climatic Comfort… [25]Design with nature in bio-architecture with emphasis… [26]Natural ventilation of a small-scale road tunnel… [27] Folded double-skin façade (DSF)… [28] Impacts of urban morphology on reducing cooling load… [29] A novel design-based optimization framework… [30] Natural ventilation performance of ancient wind catchers… [31] Thermal comfort prediction by applying supervised machine learning in green sidewalks of Tehran. [32]An Evaluation of the Ecological Architecture Influenced by the Interaction Between Structural… [33] Optimization of building shape and orientation… [34] Multi-objective optimisation framework for designing office… [35] Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts… [36] Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation… [37] Effects of windward and leeward wind directions… [38] Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing… [39] Seasonal differences of subjective thermal… [40] A study on terraced apartments and their natural… [41]Natural ventilation in warm climates… [42]Multi-objective optimization of building-integrated… [43] Investigation of the relationship between depth… [44]Comparative Evaluation of Airflow in Two kinds of Yazdi… [45] The Numerical Analysis of Performance of Wind… [46] An improved design of wind towers for natural… [47] Utilization of Wind Power as a Renewable… [48] Wind Towers: Measurement and Performance. [49] Performance of single and multiple pressure… [50] Experimental study on natural ventilation performance… [51]Two-sided wind catcher performance… [52]extensions for wind towers to improve natural… [53] A Passive Ventilation and Air Conditioning… [54] Analysis of airflow inside a two-sided wind… [55]CFD simulation of cross-ventilation… [56]CFD simulation of wind-induced…

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

تحلیل کارایی سه نوع بادگیر جهت تهویه طبیعی در ساختمان مسکونی معاصر، اقلیم گرم و خشک، اصفهان

اسما حجتی*[۱]، مهدی سعدوندی[۲]، انریکو دی آنجلیس [۳]

۱- دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان. (نویسنده مسئول)
۲- استادیار معماری دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان.
۳- پرفسور معماری دانشگاه پلی تکنیک میلان ایتالیا.

چکیده

اهداف: این تحقیق عملکرد حرارتی و تهویه داخل طبقات مختلف یک ساختمان مسکونی چهار طبقه را با به کارگیری سه مدل بادگیر در آب و هوای گرم و خشک بررسی میکند. هدف تحلیل چگونگی عملکرد تهویه طبیعی با به کارگیری بادگیر به عنوان یکی از عناصر معماری سنتی در مجتمع های مسکونی معاصر است.

ابزار و روش ها: ابتدا با بررسی منابع مختلف مدل بهینه ساختمان مسکونی استخراج گردید. جهت ارزیابی پتانسیل خنک کننده و میزان جریان، عملکرد سه مدل بادگیر در طبقات مختلف با مدل سازی رایانه ای یا دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) تجزیه و تحلیل شده است.

یافته ها: بادگیر یک طرفه با توجه به متوسط پایین هوای ورودی و منفی بودن جریان هوا در شفت مرکزی کارآمد نیست. بادگیر دو طرفه در ماههای گرم دارای سرعت جریان هوای مثبت است، ولیکن در ساختمان چهار طبقه در طبقات اول و دوم نمیتواند میزان هوای لازم جهت تهویه را در حالت پنجره باز داشته باشد. بادگیرچهار طرفه در حالت پنجره باز در طبقات دارای توان برودتی بالاتر و کارایی بهینه است زیرا میتواند جریان هوا را با سرعت و حجم مناسب برای طبقات اول تا چهارم فراهم کند.

نتیجه‌گیری: در میان سه نمونه شبیه سازی شده در نرم افزار مشخص شد که تنها مدل چهارطرفه میتواند کارایی لازم را جهت تهویه در طبقات مختلف داشته باشد. با توجه نکات مطرح شده جهت به کارگیری مجدد بادگیرها، معماران و طراحان می‌توانند طراحی را بهبود بخشیده و ساختمانی سازگارتر با تهویه طبیعی و شرایط آسایش طراحی کنند.

کلمات کلیدی: بادگیر، تهویه طبیعی، بهره وری انرژی، معماری معاصر، فناوری های نوین، پایداری

مقدمه

بحران انرژی و گرمایش جهانی یکی از مهمترین چالش های پیش روی معماری و شهرسازی معاصر ایران و جهان است که روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود. [۱-۵] مروری بر ادبیات تخصصی نشان می دهد که در جهان معاصر به علت رشد روز افزون مصرف انرژی و با توجه به کمبود منابع سوخت های فسیلی و آلودگی های زیست محیطی، ضرورت به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر جهت کاهش مصرف سوخت های فسیلی افزایش یافته است. ایجاد سازوکاری برای الهام گرفتن از معماری بومی کشورها [۶-۱۰] به خصوص الهام از معماری سنتی ایران، یکی از مهمترین راه حل ها برای امروز و آینده به شمار می‌آید. بحران انرژی به عنوان بحرانی جدی، علاوه بر کشورهای توسعه یافته، کشورهای در حال توسعه مانند ایران را نیز تحت تاثیر قرار داده است.

به عبارت دیگر الهام از عناصر معماری گذشته مانند بادگیر، برای استفاده در معماری امروز، از جایگاه ویژه ای برخوردار است. [۱۱-۲۰] از این رو این مقاله به تحلیل کارایی سه نوع بادگیر جهت تهویه طبیعی در ساختمان مسکونی معاصر، بر اساس شرایط اقلیم گرم و خشک اصفهان تخصیص یافته است.

یکی از راه های کاهش مصرف سوخت های فسیلی، ساخت واحدهای ساختمانی به گونه ای است که دارای کمترین نیاز به مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش باشد و تهویه به صورت سیستم غیرفعال صورت گیرد. [۲۱-۲۵] استفاده از روش های غیرفعال و پاک، درمعماری سنتی در غیاب وسایل مکانیکی در طول صدها سال تجربه ساخت بومی به دست آمده است. یکی از دلایلی که امروزه بادگیر در معماری معاصر ایران به فراموشی سپرده شده است، عدم آگاهی و علم معماران برای ساخت بادگیرهای جدید است. تنوع و تکثر فرم‌های مختلف بادگیر در پلان، مقطع و تناسبات خاص آن ها همه حاکی از این است که معمار با توجه به شرایط اقلیمی، میان اقلیم و خرد اقلیم هر منطقه و با علم تجربی خود، در مکان‌های متفاوت بادگیرهایی با فرم‌های متفاوت ساخته است. [۲۶ – ۲۷] و این در حالی است که بهره گیری از این سیستم‌های

سنتی در ساختمان معاصر می تواند بهترین راه برای تامین آسایش حرارتی باشد. [۲۸-۳۰] به کمک پژوهش‌های مختلف پیرامون روش‌های اصلاح و به روزرسانی بادگیرها و نیز شناخت نقاط قوت و ضعف آن‌ها ،می‌توان پیشنهاداتی در اصلاح و معاصرسازی بادگیر ارائه داد. این امر می تواند معماران را به سمت احیای معماری سنتی، البته با شکلی جدید [۳۲-۳۱] و قابل استفاده در الگوی معماری مدرن سوق دهد. استفاده از آموزه های معماری سنتی ایران و به کارگیری آن های در الگوهای نوین معماری [۳۳-۳۵] امروزه به بخش مهمی از تلاش برای بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی تبدیل شده است.

در پیشینه تحقیق، تاثیر فرم کلی ساختمان بر افزایش عملکرد بهینه تهویه طبیعی [۳۶-۳۸] بارها مورد بحث قرار گرفته است؛ و تاثیر آن در فضاهای باز و بسته ساختمان های مسکونی تحلیل شده است. [۳۹-۴۰] اما تحلیل ها نشان می دهند که در ساختمان به عنوان یک کل، تهویه طبیعی نقش مهمی در آسایش حرارتی بر عهده دارد. [۴۱-۴۳] این مهم در اقلیم گرم و خشک اصفهان نیز اهمیت بالایی برخوردار است.

برای دست یابی به ساختار روشن تحقیق، گونه شناسی بادگیرها اهمیت بالایی دارد. گونه بندی های مختلفی برای تفکیک انواع بادگیر صورت گرفته است که با توجه به نقطه نظر افراد گوناگون بر مبنای نام محلی، نوع کارکرد، ریخت شناسی، سطوح دریافت کننده باد دسته بندی شده است.

شریعت زاده بادگیرهای ایرانی را به سه دسته اردکانی(یک طرفه)کرمانی(دوطرفه) و یزدی(چهارطرفه) تقسیم نمود. بادگیر اردکانی بیشتر در منطقه اردکان دیده می‌شود که جهت چشمه‌های بادگیر رو به باد مطبوع اصفهانی بوده و از سمت غرب، شرق و جنوب منفذی ندارد. ساختار این بادگیرها از لحاظ معماری ساده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. [۴۴] بادگیرهای کرمانی از نظر معماری ساده و کوچک بوده و چون دو طرفه‌اند، به آن‌ها بادگیر دوقلو نیز می‌گویند. کارکرد این بادگیر نسبت به بادگیرهای اردکانی دقیق‌تر اس؛ زیرا فشار باد در یک جهت، موجب تخلیه سریع هوای گرم و آلوده از طرف دیگر بادگیر می شود. در ضمن، بادگیر بیشتر آب انبارها را از نوع بادگیر کرمانی می‌سازند. بادگیر یزدی که از سایر انواع بادگیرها بزرگ‌تر است. به طور معمول، به صورت چهار طرفه ساخته شده و ارتفاع آن زیاد است. این نوع بادگیر از نظر معماری از سایر انواع بادگیرها پیچیده‌تر و زیباتر بوده و بلندترین بادگیر از این نوع، بادگیر باغ دولت آباد یزد است. [۴۵] در دسته بندی عملکردی بادگیرها، آن ها را به چهار دسته شامل یک طرفه، دو طرفه، چهار طرفه و قطری (شش طرفه یا هشت طرفه) تقسیم می کنند؛ [۴۶] که به اختصار عبارتند از:

بادگیر یک طرفه: این نوع بادگیر تنها دارای یک دهانه رو به باد می باشد. باد پس از عبور دهانه بادگیر و عبور از کانال اصلی وارد محیط ساختمان می گردد. این بادگیر ساده ترین و ابتدایی ترین نوع بادگیر است که بقایای آن در ایران حداقل از دوران صفویه به جا مانده است. ساخت این بادگیر نسبت به دیگر انواع, دارای هزینه کمتر و اجرای آن آسانتر می باشد.. نمونه این پدیده در شهرهای میبد و اردکان در استان یزد قابل مشاهده است. بادگیر یک طرفه در این مناطق پشت به بادهای کویری و رو به سمت باد مطلوب ساخته می شدند.

بادگیر دوطرفه: همانطور که از اسم این نوع بادگیر بر می‌آید دهانه های ورود آن رو به دو سمت متفاوت بوده و قادر است بادهای دو جهت اصلی را جلب نماید. بدنه اصلی سیستم در این قسم از بادگیرها توسط یک تیغه میانی به دو کانال اصلی تقسیم می گردد. هوا پس از ورود از طریق یکی از دهانه های بادگیر از سایر بازشوهای ساختمان و بویژه از دهانه طرف مقابل خارج می شود. به علت کاربرد نسبتا زیاد این نوع بادگیر در شهر کرمان نام دیگر آن بادگیر کرمانی است. هر چند بادگیر دو طرفه از نظر سیر تکاملی مابین بادگیرهای یک طرفه و چهارطرفه می باشد اما بر اساس مشاهدات در مقایسه با یادگیرهای یک طرفه و چهار طرفه کاربرد کمتری داشته است.

بادگیر چهار طرفه: در مسیر پیشرفت ساخت بادگیرها، بادگیر چهارطرفه یکی از پیشرفته ترین و پرکاربردترین نوع بادگیرقلمداد می شود. دهانه های بادگیر مذکور رو به چهارجهت عمود بر یکدیگر بوده و عموما مقطع عرضی بادگیر

مستطیل شکل می باشد. وجود دهانه های رو به هر چهار جهت اصلی باعث میشود بادهایی که از هر سو به بادگیر نزدیک می‌گردند به سمت داخل ساختمان هدایت شوند. به این ترتیب جریان هوا از یک یا دودهانه وارد بدنه بادگیر شده و همزمان از سایر دهانه ها خارج می شود. مقطع عرضی بدنه بادگیر در نوع چهار طرفه به چهارکانال اصلی تقسیم می‌گردد و چگونگی این تقسیم بندی در بادگیرهای مختلف متفاوت است.

هدف عملیاتی پژوهش، بررسی سه الگوی بادگیر به عنوان یکی از راهکارهای ایجاد سیستم سرمایشی ایستا یا غیرفعال، در ساختمان مسکونی در اقلیم گرم و خشک اصفهان است. اطلاعات اولیه بر پایه مطالعات کتابخانه ای بوده و سپس با استفاده از روش شبیه سازی به کمک نرم افزار فلوینت با مقایسه تطبیقی برای بررسی چگونگی تاثیر و نحوه بازدهی حضور بادگیر در طبقات مختلف انجام شده است. در این مطالعه، چگونگی عملکرد خنک کننده و تهویه در ساختمان مسکونی معاصر، در چهار طبقه با بکارگیری سه مدل بادگیر با دهانه های یک طرفه، دو طرفه و چهار طرفه بررسی شده است.

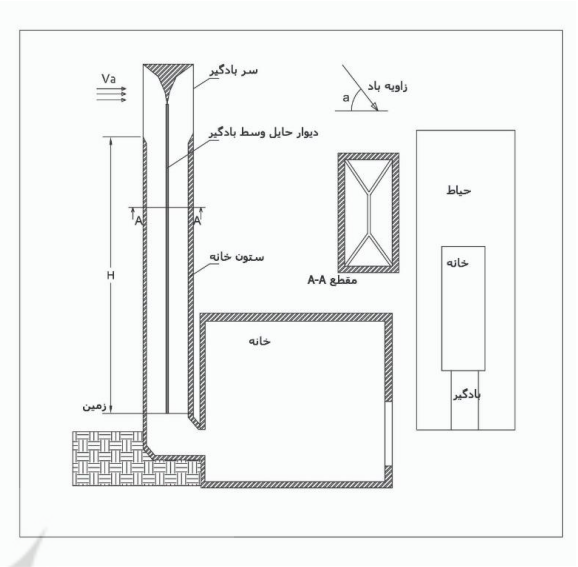
بیان مسیله و سوالات تحقیق با هدف تحلیل کارایی سه نوع بادگیر جهت تهویه طبیعی در ساختمان مسکونی معاصر، اقلیم گرم و خشک، اصفهان تنظیم شده است. مطالعات انجام شده در مورد تحلیل کالبدی ساختمان سابقه طولانی دارد؛ اما به دلایل مختلف در سال های گذشته کمتر مورد توجه طراحان معمار قرارگرفته است. مشخصات بادگیرها و پیشنهادات طراحی متعددی در جهت بهبود عملکرد آن ها نیز در پژوهش های گوناگون بارها مورد نقد و بررسی قراگرفته شده است. آنچه پژوهش حاضر را متمایز می کند این است که این پژوهش سه مدل بادگیر را در داخل یک ساختمان معاصر چهار طبقه بررسی می کند. مساله اصلی در تحلیل های پژوهش، بررسی عملکرد گونه های مختلف بادگیر و بیان میزان حجم و سرعت جریان باد، با هدفِ بهبود تهویه در فضای داخلی ساختمان مسکونی چهارطبقه است. سوالات تحقیق عبارتند از:

- نحوه تاثیر بادگیر با دهانه های ورودی متفاوتِ یک طرفه، دو طرفه و چهار طرفه، در طبقات مختلف ساختمان معاصر چهار طبقه در اقلیم گرم و خشک چگونه است؟
- کدام یک از گونه ها در زمان پنجره باز از جهت کیفیت تهویه و ایجاد کوران در اقلیم گرم و خشک، عملکرد بهتری دارد؟

ادبیات موضوع

مطالعات صورت گرفته، عملکرد بادگیر را بر اساس اصل کشش دهانه های رو به باد و مکش دهانه های پشت به باد توضیح می دهد. [۴۴] طرز کار بادگیر بر این پایه نهاده شده است که از وزش باد برای کشاندن هوای خوش به درون ساختمان، و از عکس العمل نیروی آن یعنی مکش برای راندن هوای گرم و آلوده استفاده می شود. این نوع عملکرد در حقیقت با توجه به این اصل صورت می گیرد که هنگامی که باد به بدنه ای برخورد می کند، با توجه به تراکم بیشتر هوا در وجهی که مقابل باد قرار دارد، در این وجه فشار مثبت ایجاد شده و در وجه دیگر فشار منفی خواهیم داشت. بنابراین در صورت ایجاد بازشو در طرفین حرکت باد از فشار مثبت به فشار منفی را شاهد خواهیم بود. در بادگیرها نیز با توجه به همین اصل دهانه رو به باد هوا را به درون خود می کشد و به داخل ایوان می برد و هوای داخل ایوان با توجه به فشار منفی ایجاد شده در دهانه پشت به باد به بیرون کشیده میشود. اختلاف فشار عمدتاً به واسطه وزش باد یا نیروی شناوری که ناشی از اختلاف چگالی در طبقات مختلف است، به وجود می‌آید. در یک رطوبت یکسان، هوای سرد از هوای گرم سنگین‌تر است، لذا جریان هوا با سقوط هوای سنگین شروع شده و نیرویی که پشت هوای سبک است باعث می‌شود که هوای گرم از مجاری دیگر خارج گردد و هرچه ارتفاع بادگیر بیشتر باشد، یعنی فاصله از محل ورودی هوا تا محل خروجی هوا بیشتر باشد، اختلاف فشار نیز بیشتر می‌شود. [۴۷–۴۸] باد سبب ایجاد فشار مثبت بر روی دیوارهای رو به باد و فشار منفی روی دیوارهای پشت به باد می‌شود. از این رو هوای

تازه از طرف دیوار رو به باد وارد و از طرف دیوار یا محل‌های پشت به باد خارج می‌گردد.

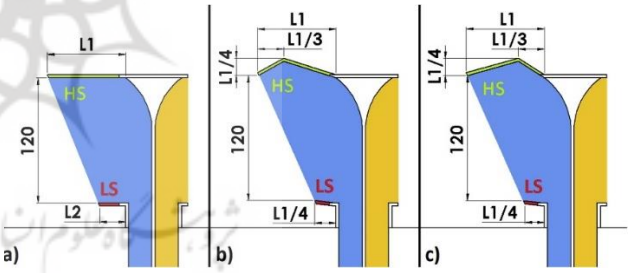


شکل ۱- رفتار یک بادگیر دو سویه در یک خانه سنتی. [۳۶]

عملکرد بادگیر بر اساس اختلاف دما قابل توضیح است. بادگیر از سه قسمت اصلی شامل سربادگیر، ستون بادگیر و زانویی های هدایت کننده تشکیل شده است (شکل ۱) به نظر می رسد آنچه که کمتر مورد توجه اهل فن در این زمینه می باشد. کار کردن بادگیر بر اساس اختلاف دمایی است. در حقیقت هنگامی که وزش بادی به صورت محسوس وجود ندارد بادگیر بر اساس همین اصل عمل می کند. [۴۹] در روز با توجه به آفتاب خوردن وجه جنوبی بادگیر هوای موجود در وجه جنوبی بادگیر گرم می شود و به بالا می رود. این هوا به وسیله هوای داخل ایوان که به بالا کشیده می شود، جبران می گردد و در حقیقت نوعی خلا نسبی داخل ایوان ایجاد می گردد که هوای خنک داخل حیاط را به درون خود می کشد. به همین ترتیب هوای موجود در دهانه شمالی نیز به پایین کشیده می شود. در شب هوای بیرون سرد می شود، و به سمت پایین حرکت می نماید. این هوا در اثر حرارت ذخیره شده در دیواره ها گرم شده و به بالا می رود و این چرخه تا هنگامی که دمای دیوارها و هوای بیرون یکی شود ادامه می یابد. ولی به طور معمول بیش از رسیدن به این وضعیت شب تمام شده و دوباره بادگیر به نحوی که در بالا توضیح داده شد، عمل می کند. [۴۹] در اثر تشعشع خورشید در طی روز، دمای دیوارهای بادگیر بالا می رود و هوای داخل ستون بادگیر نسبت به هوای محیط سبک تر می شود. بنابراین هوای داخل ساختمان از طریق بادگیر به محیط هدایت می شود .در واقع در این حالت بادگیر مانند یک دودکش عمل می کند. به طور کلی در اکثر مواقع بادگیرها در شرایطی بین حالاتی که توضیح داده شد عمل می‌کنند. یعنی هم بر اساس مکش کشش و هم بر اثر تفاوت دمایی عمل می‌کند.

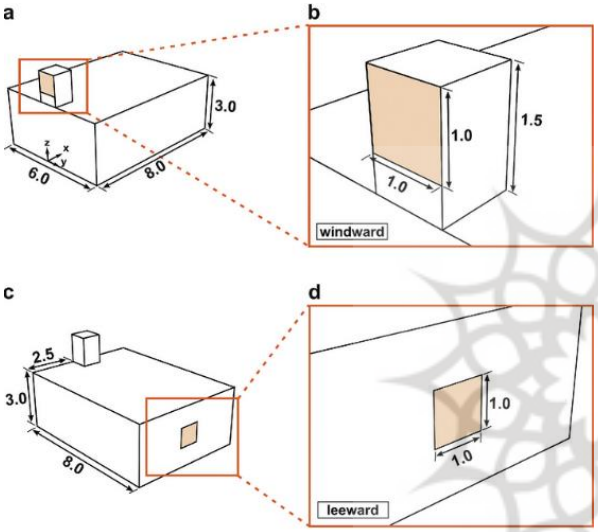
منتظری در مقایسه بادگیرهای دو طرفه و یک‌طرفه به این نتیجه رسید که بادگیر دو طرفه دو درصد کارایی بهتری نسبت به بادگیر یک طرفه دارد [۵۰] در پژوهشی دیگر ایشان و همکارانش در آنالیز رفتار حرارتی و سرمایش بادگیرهای دو طرفه با مدل‌سازی ماکتی در مقیاس یک به چهل و قرار دادن آن در محیط تونل باد مکانیکی، عملکرد این بادگیرها در تهویه طبیعی را مثبت ارزیابی نمودند .همچنین ایشان و همکارانش در شهرستان یزد، یک مطالعه انجام دادند تا تعداد دهانه‌های بادگیر و میزان راندمان آن را بررسی کنند. این مطالعه نشان داد که ارتفاع، سطح مقطع و مکان بادگیرها به علاوه تعداد دهانه‌ها مواردی هستند که به بهره‌وری بادگیر کمک می‌کنند. [۵۱-۵۲] در استفاده از دو گونه بادگیر دو طرفه و چهار طرفه، افزایش توان برودتی و کارآیی بهینه یکی از مهم ترین اصول بکارگیری بوده است، به نحوی که در بادگیر یزدی این اصل در طول چهار فصل سال حاکم است، در حالی که این نسبت در بادگیر کرمانی فقط در طول تابستان صادق است. در جهت بهبود کارایی بادگیرها ی سنتی نیز محققان زیادی نمونه های مختلف بادگیر از روشهای تجربی و شبیه سازی بررسی کرده اند. مهیاری ایراد بادگیرهای سنتی را از دو جهت بررسی کرده و راه حل هایی ترمودینامیکی و ایرودینامیکی جهت بهبود کارایی بادگیرها ارایه داده است. جهت اصلاح انتقال حرارت بر پایه ترمودینامیک پیشنهاداتی، من جمله افزایش ارتفاع بادگیر ارایه دادند ، جهت اصلاح الگوی جریان باد بر پایه

ایرودینامیکی هم باید پایین شفتهای پشت و رو به باد در یک نقطه با یکدیگر مجاورت نداشته باشند. به این ترتیب سرعت جریان هوا به دو دلیل بالا میرود: یکی فشار مثبت وارد شده بر دهانه ورودی مسیر و دیگری فشار منفی وارد شده بر دهانه خروجی مسیر. راه حلی جهت رفع یکی دیگر از عیوب بادگیرهای سنتی در مطالعه ای دیگر بیان شده است؛ مسیله این بود که دربالای سازه بادگیرهای سنتی یک منطقه کم فشار ناشی از جدایی لایه مرزی وجود دارد که مجاورت ان در کنار ناحیه پرفشار دهانه ورودی باعث انحراف مسیر باد به خارج از ورودی بادگیر میشود. دراین تحقیق با استفاده از روشهای سی اف دی ۲۸ طرح مختلف دهانه ورودی را بررسی کردند. نتایج نشان داد برخی از طرح ها میتواند از تشکیل جریان های صعودی در اطراف دهانه ورودی ، جلوگیری کند واین امر بهبود جریان تهویه مفید است. همچنین انها مواردی را به عنوان راهنمایی طراحی در هنگام طراحی یک برج بادی جدید یا هنگام مقاوم سازی یک برج قدیمی را بیان کردند. [۵۳]



شکل ۲- بررسی نمونه های مختلف پسوند دهانه ورودی برج بادگیر [۴۳]

مطالعه دیگری رفتار جریان را درداخل یک ساختمان با بادگیر دو طرفه جهت احیا و استفاده مجدد بادگیرها بررسی کرده است .این مطالعه به صورت آزمایشی در یک تونل باد و از طریق شبیه سازی CFD با استفاده از مدل استاندارد تلاطم k-ε انجام شد. و تأثیر دو سطح مختلف زمین و دو مکان مختلف ساختمان بادگیر را بررسی کرده است. [۵۴] منتظری در مقاله خود ارزیابی دقیقی از تأثیر دهانه های خروجی بر عملکرد تهویه یک ساختمان با یک بادگیر ارائه داده است. ارزیابی بر اساس سه شاخص عملکرد تهویه انجام می شود: سرعت جریان هوا ناشی از آن ، سن هوا و بازده تغییر هوا . شبیه سازی تهویه به کمک روش CFD همراه با اندازه ها و انواع مختلف دهانه های خروجی انجام شد ..نتایج نشان داد که استفاده از دهانه های خروجی بسیار نزدیک به بادگیر باعث افزایش جریان هوای القایی نمی شود ، در حالی که منجر به کاهش قابل توجه کیفیت هوای داخلی می شود. همچنین ترکیبی از بادگیر یک طرفه و پنجره میتواند کارایی بادگیر را افزایش دهد ، در حالی که استفاده از بادگیرهای دو طرفه منجر به پایین ترین کیفیت هوای داخلی و بازده تغییر هوا می شود. [۵۵]



شکل ۳-بررسی هندسه ساختمان شامل یک بادگیر یک طرفه با اندازه های مختلف پنجره .(ابعاد به متر) [۵۵]

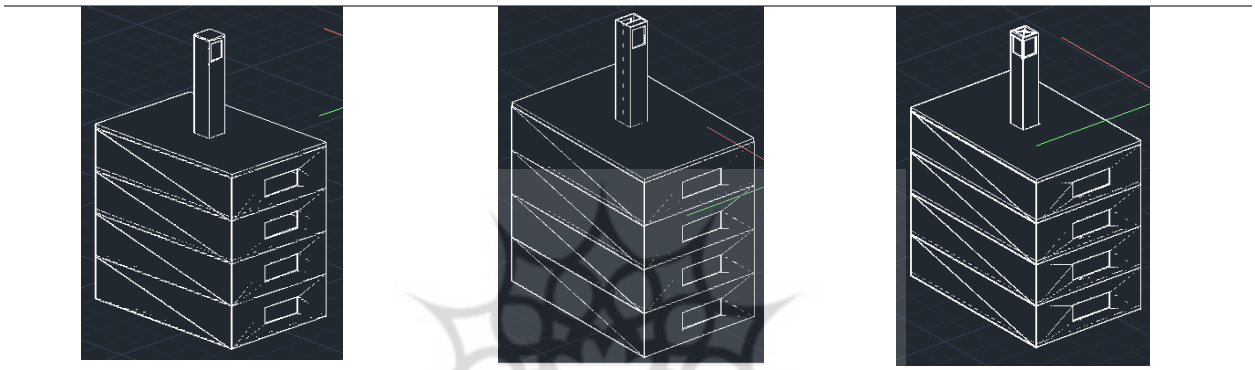
مواد و روش‌ها

در بخش انتخاب الگوی مناسب مسکن، جهت انجام پژوهش شبیه سازی، با استفاده از آمار و اسناد شهرداری اصفهان و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، داده های اولیه برای الگوی نمونه ساختمان گردآوری شد. برای بررسی رفتار حرارتی بادگیر روش تحقیق در پژوهش های مختلف متفاوت است. روش هایی مانند روش تحلیلی و آزمایشی ، اندازه گیری آزمایشگاهی و شبیه سازی رایانه ای از جمله روشهای رایج مورد استفاده برای این موضوع خاص هستند. از آنجا که راه حل های تحلیلی و تجربی خیلی دقیق نیستند و به دلیل هزینه بالای اندازه گیری های آزمایشگاهی ،در این تحقیق از شبیه

سازی رایانه ای یا شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده می شود.در مطالعات گذشته ضرورت استفاده از شبیه سازی CFD بعنوان یکی از قدرتمندترین تکنیکها در مرحله طراحی و تحلیل مدل های بادگیر به خوبی تأکید شده است. [۵۶]

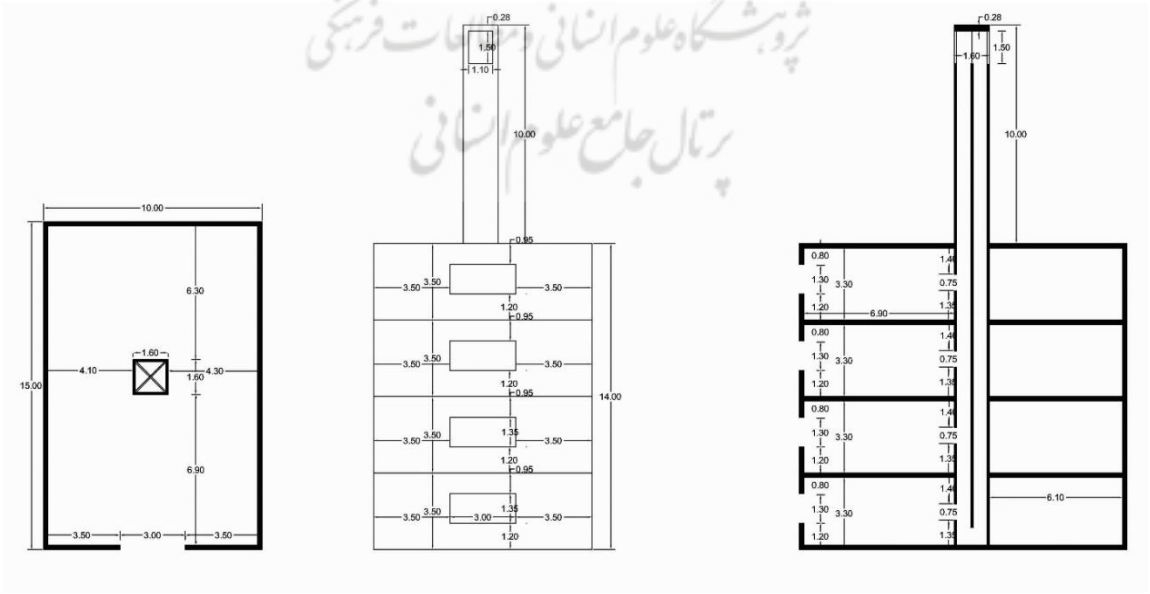
ساختمان نمونه اولیه پیشنهادی یک ساختمان مسکونی چهار طبقه است که یک دستگاه بادگیر در پشت بام دارد. تهویه هوا در این ساختمان توسط یک بادگیر فراهم می شود. (شکل ۴)

هوای تازه از طریق دهانه ورودی وارد می شود و در مقطع ساختمان با درنظرگرفتن دریچه هوا در هر طبقه به فضای داخلی وارد میشود.(شکل ۵) برای دستیابی به تهویه طبیعی در ساختمان ، سه حالت بادگیر مقایسه شده است. شبیه سازی و محاسبات این کار با تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی در افزار فلوینت نسخه ۲۰۲۰ CFD انجام شده است.



مدل سوم – بادگیر ۴ طرفه	مدل دوم – دوطرفه	مدل اول – یک طرفه

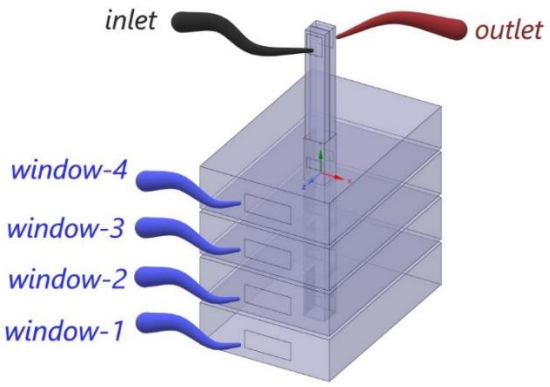
شکل ۴–طرح سه بعدی مدل های متفاوت بادگیر با جانمایی و ارتفاع یکسان در ساختمان نمونه



شکل ۵– مدل طراحی شده جهت انالیز در نرم افزار فلوینت (پلان و نما و سطح مقطع – واحد :متر)

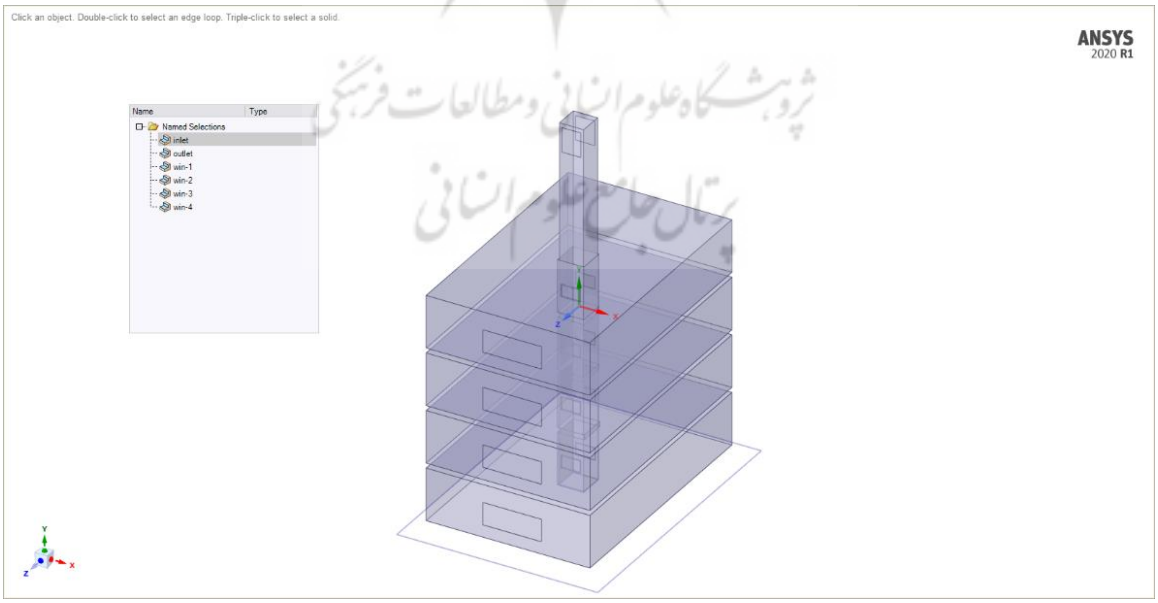
بعد از استخراج حجم هوای داخل ساختمان، نوبت به تعیین نواحی مرزی است. بخش ورودی بادگیر به صورت شرط مرزی سرعت ورودی Velocity inlet، بخش خروجی بادگیر به صورت جریان خروجی Outflow و پنجره‌های ساختمان هم به صورت جریان خروجی Outflow در نظر گرفته شده است.

در مرحله‌ی بعد هندسه به همراه شرایط مرزی به محیط نرم افزار فلوئنت مشینگ وارد Import می‌شود. بخش‌های مربوط به ورود و خروجی جریان از بادگیر و پنجره‌ها از شبکه‌های ریزتری استفاده شده است. اندازه المان‌ها در این بخش‌ها برابر ۰.۰۴۵ متر درنظر گرفته شده است. برای بخش‌های مرکزی و دور از دیوارهای ساختمان اندازه المان‌ها ۰.۰۹ متر در نظر گرفته شده است. برای دیوارها لایه مرزی به صورت انتقال آرام یا Smooth transition با تعداد ۳ درنظر گرفته شده است. به منظور تولید شبکه‌ی حجمی از المان‌های چند وجهی Polyhedral بهره گرفته شده است. شبکه‌ی تولید شده به محیط نرم افزار فلوئنت فراخوانی می‌شود. حل به صورت پایا Steady و از حلگر فشار مبنا Pressure based استفاده شده است. مدل آشفتگی انتخابی k-e Realizable می‌باشد. این مدل انتخاب مناسبی برای غالب مسائل است و اثرات چرخش جریان را به خوبی مدل می‌کند.

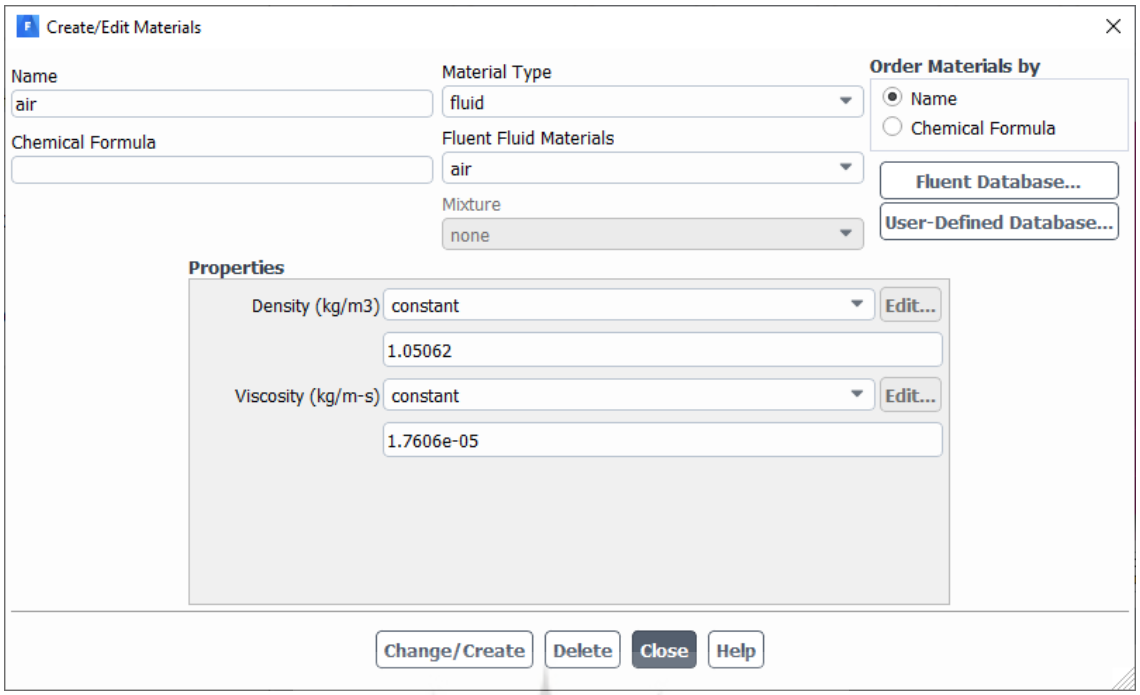


شکل ۶- فایل اولیه در محیط نرم افزار فلوینت

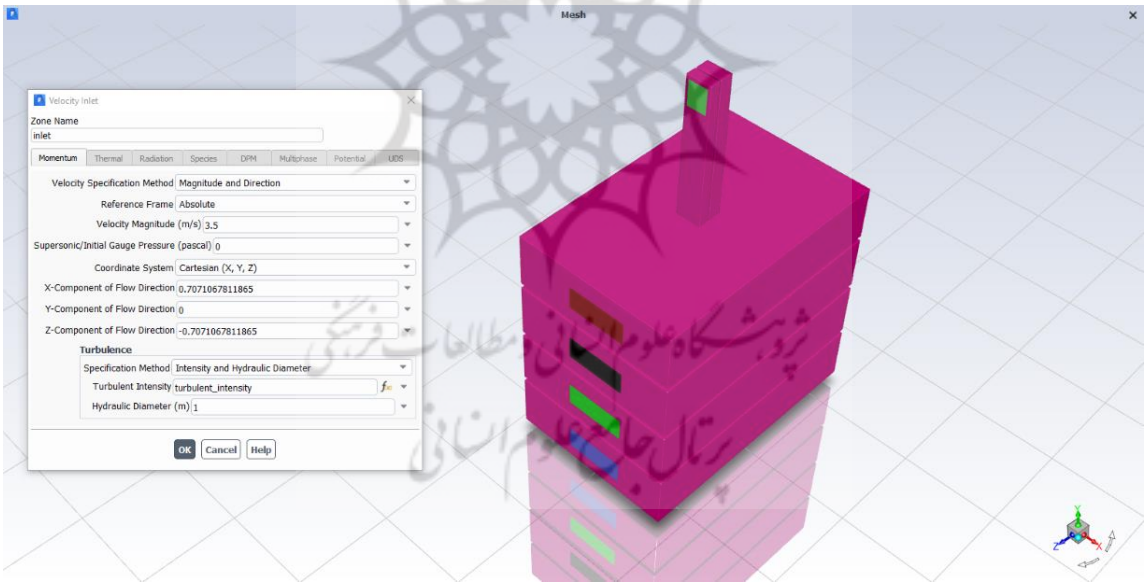
جریان هوا دارای سرعت۳/۵ متربرثانیه و از طرف جنوب غربی وارد ساختمان می‌شود؛ بدین منظور تنظیمات مربوط به شرایط مرزی به صورت پنجره‌ی زیر برای ورودی بادگیر در نظر گرفته شده است.



شکل۷- تعیین نواحی مرزی



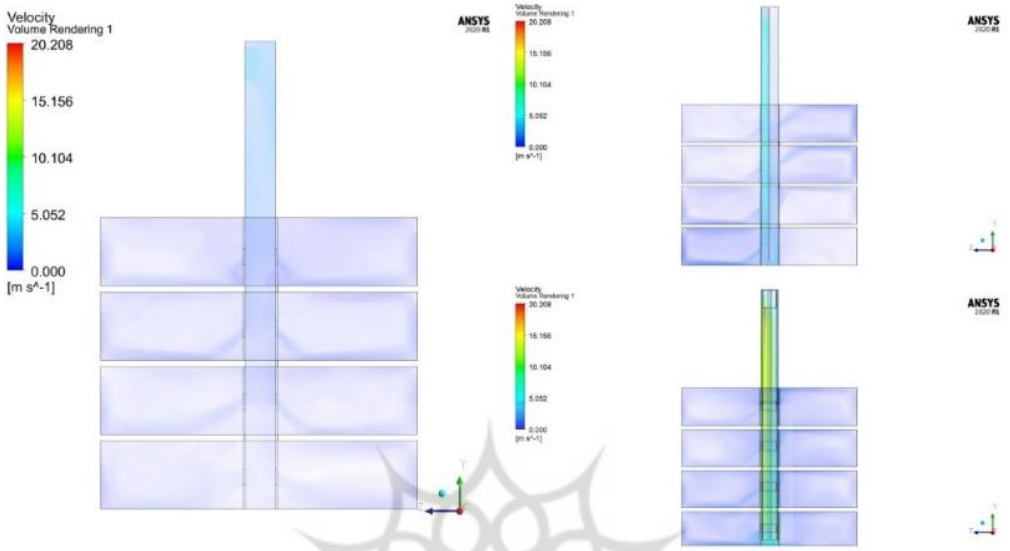
شکل ۸- تعیین داده های ورودی (چگالی و لزجت سیال کاری با توجه به ارتفاع از سطح دریا شهراصفهان)



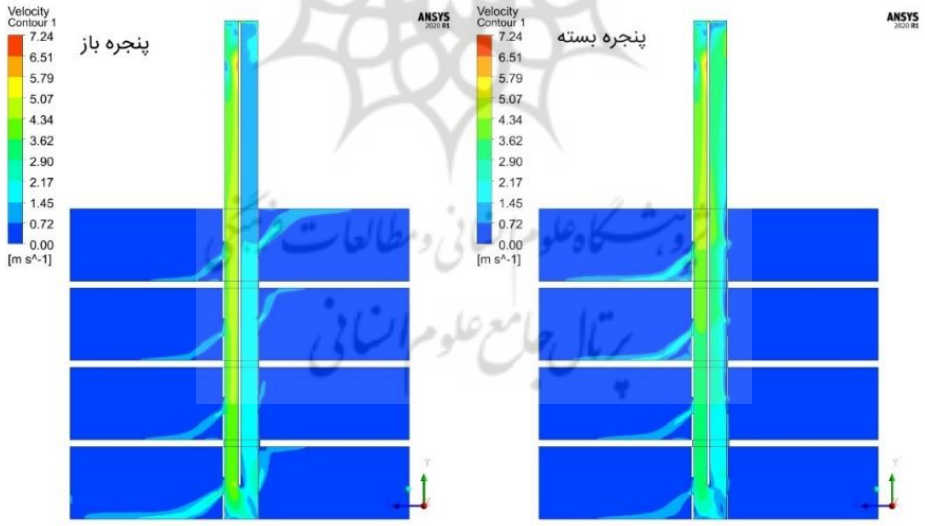
شکل ۹- تنظیمات مربوط به شرایط مرزی

برای اتصال سرعت–فشار از الگوی کاپلد Coupled استفاده شـــده اســـت. برای معادلات فشـــار، مومنتوم و آشـــفتگی از آپ‌ویند مرتبه دوم Second Order Upwind اســـتفاده شده است.

به منظور تسریع در روند همگرایی از الگوی شبه‌گذرا Pseudo Transient استفاده شده است. مقداردهی اولیه به صورت ترکیبی Hybrid و تعداد تکرارهای ۵۰۰ برای انجام پردازش در نظر گرفته شد.



شکل ۱۰– سرعت جریان در نمونه های مختلف شبیه سازی شده



شکل ۱۱– سرعت جریان در بادگیر ۴ طرفه در دوحالت پنجره باز و بسته

یافته‌ها

برای انجام تحلیل های لازم، سرعت و حجم جریان جهت تهویه در فضای داخل طبقات با به کارگیری سه مدل بادگیردر مرکز ساختمان بررسی شده است. با توجه به اینکه جهت جریان باد غالب شهر اصفهان در فصل تابستان جنوب و جنوب غرب میباشد، میتوان با درنظر گرفتن پنجره در ضلع جنوب کارکرد بادگیر را بهبود بخشید. به بیان دیگر، به علت وجود تراکم ساختمانها درشهرها و کاهش سرعت جریان باد در سطوح پایین اضافه کردن پنجره و یا داکت میتواند جریان باد را از سطوح بالاتر به فضای داخل هدایت نماید.

در جدول و شکل بردارهای سرعت نشان داده شده است که قراگیری دو دریچه ورودی هوا در مسیرجریان باد حجم ورود هوا به داخل فضا در بادگیر نمونه سوم (چهارطرفه) قابل توجه است. هنگامی که باد به بدنه بادگیر برخورد می کند، با توجه به تراکم بیشتر هوا در جبهه ی جنوبی ان که مقابل باد قرار دارد، در این وجه فشار مثبت ایجاد شده و در سمت دهانه دیگر بادگیر فشار منفی باعث حرکت باد از فشار مثبت به فشار منفی میشود. .به همین دلیل با ایجاد دو ورودی هوا در جهت رو به باد و دو دریچه خروج هوا مقدار جریان هوای ایجاد شده در داخل طبقات نسبت به مدل بادگیر یک طرفه بیشتر شده است.

دربادگیر دوطرفه در دهانه رو به باد گردش هوا را موجب میشود که این امر باعث اتلاف شده و نوعی بازگشت هوای مطلوب رخ میدهد. این مساله در دهانه پشت به باد غالب بادگیر دو طرفه نیز قابل مشاهده است. همچنین در بادگیر دو طرفه در دو جهت جداره بادگیر بیشینه سرعت ایجاد میشود ولی در بادگیر یک طرفه به دلیل عدم وجود تیغه مرکزی از این جریان هوا استفاده بهینه نمیگردد. همچنین به دلیل گرم شدن هوای داخلی در فصل تابستان برگشت جریان میتواند شرایط نامساعدی را برای کاربران ایجاد نماید.

در بررسی بادگیر چهار طرفه تلاطم هوا در دهانه رو به باد غالب بسیار ناچیز است و سرعت بهینه در آن مشهود است. همانطور که در جدول مربوط به بادگیر چهار طرفه بیان شده است ، میزان جریان حجمی و میانگین نرخ سرعت در طبقه اول در یادگیر چهارطرفه میتواند بیشترین تهویه طبیعی را در فضاهای طبقات پایین به وجود اورد. همچنین با توجه به نزدیکی نسبی نتایج درج شده به همدیگر درطبقات مختلف مشاهده میشود ،که یکنواختی سرعت بیشتری در طبقات داریم و این مدل کارایی بهتری نسبت به دو مدل دیگردارد. دربادگیر دو طرفه که یک ورودی و یک خروجی داریم پراکندگی سرعت زیاد است؛ در طبقه اول ۸۸ ٪ متر بر ثانیه و در طبقه چهارم ۲۹٪. همچنین با توجه به اعداد مربوط به جریان حجمی در بادگیر چهارطرفه نشان داده شده است که توزیع جریان هوا درطبقات مختلف حالت یکنواخت تر دارد،که در بادگیر دو طرفه و یک طرفه بدین صورت نمی باشد. نتایج مربوط به میزان جریان حجمی و میانگین نرخ سرعت نمایش داده شده است.

جدول ۲ – میزان سرعت و حجم جریان در طبقات مختلف با به کارگیری بادگیر یک طرفه

	باد جنوب غربی(اصفهان)	Window-1	Window-2	Window-3	Window-4	outlet
بادگیر **یک طرفه** ، بدون تیغه	Volumetric Flow Rate (m^3/s)	1.254274	1.411893	1.357	1.384	4.1633
	Average of Velocity Rate(m/s)	0.25841	0.2908832	0.2795918	0.2851384	

جدول ۳- میزان سرعت و حجم جریان در طبقات مختلف با به کارگیری بادگیر چهار طرفه

بادگیر **چهار طرفه** ،دو ورودی دوخروجی	باد جنوب غربی(اصفهان)	Window-1 طبقه اول	Window-2 طبقه دوم	Window-3 طبقه سوم	Window-4 طبقه چهارم	outlet
	Volumetric Flow Rate(m^3/s)	3.306326	3.2	2.57	2.7351798	6.621916
	Average of Velocity Rate(m/s)	0.681183	0.6593817	0.5295105	0.5635131	1.901993

جدول ۴- میزان سرعت و حجم جریان در طبقات مختلف با به کارگیری بادگیر دو طرفه

بادگیر **دوطرفه**، یک ورودی و یک خروجی	باد جنوب غربی(اصفهان)	Window-1	Window-2	Window-3	Window-4	outlet
	Volumetric Flow Rate (m^3/s)	4.2763278	1.850490864	1.45844312	1.430243520	1.764896
	Average of Velocity Rate(m/s)	0.8810268	0.3812458	0.3004745	0.2946647	1.014616

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه یک نمونه ساختمان چهار طبقه با بادگیر را شبیه سازی و عملکرد حرارتی و تهویه آن را گزارش کرده است. بدین صورت که یک مدل CFD با مقیاس طبیعی برای بررسی عملکرد حرارتی و تهویه ساختمان نمونه در شرایط آب و هوایی واقعی با جزئیات شبیه سازی و بررسی شد. به منظور مقایسه سرعت و فشار هوا نسبت به جهت گیری بادگیر و همچنین تحلیل کارایی بادگیرها در طبقات ساختمان معاصر مسکونی تصاویر و جداول استخراج شده از نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته اند. در صورت باز بودن پنجره در شرایط وزش باد سرعت و حجم جریان در داخل طبقات مقدار قابل توجهی افزایش میابد. سرعت و حجم جریان ایجاد شده در طبقات مختلف ساختمان توسط بادگیر چهارطرفه، در فصل تابستان تهویه مورد نیاز را می‌تواند فراهم کند. ولیکن بادگیرهای دوطرفه و یک طرفه کارایی لازم را ندارند و نمیتواند درهر طبقه به طور موثر عمل کند.

با بررسی دقیق و شبیه سازی رایانه ای به وضوح دریافته میشود که سیستمهای تهویه سنتی همچون بادگیرها نکات قابل توجه بسیاری دارند که پژوهش‌های بیشتری در این زمینه را طلب میکند. با توجه به تحلیل سه نمونه بادگیر چنین دریافت شد که میتوان از تکنیکهایی که برای ایجاد کوران و افزایش سرعت باد و در نتیجه تهویه بهتر در این بادگیرها استفاده شده در طراحی معماری بناهای امروزی (احداث کانال تهویه و طراحی سیستمهای تهویه طبیعی) نیز استفاده کرد تا بدین وسیله از میراث ارزشمند علم و هنر ایرانی در معماری معاصر بی بهره نماند.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: نویسنده اول، پژوهشگر اصلی، برداشت میدانی، تدوین محتوا با سهم ۵۰ ٪، نویسنده دوم، پژوهشگر اصلی، ایده مقاله، کنترل نتایج، مدیریت نتایج با سهم ۴۰ ٪ و نویسنده سوم، مدیریت نتایج و کنترل داده ها ۱۰ ٪

منابع مالی: این مقاله برگرفته از رساله دکتری اسما حجتی است که به راهنمایی دکتر مهدی سعدوندی در دست انجام است.

منابع

1- Pourjafar M, Akbarian R, Ansari M, Pourmand H. Conceptual approach in Persian architecture. *SOFFEH*. 2008;16(3-4):90-105. [Persian] Available from: http://sofeh.sbu.ac.ir/article/view/30876

2- Mahdavinejad M. Discourse of High-Performance Architecture: A Method to Understand Contemporary Architecture. *Hoviatshahr*, 2017 Aug 23;11(2):53-67. [Persian] Available from: http://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_10930_79f91b76bac9a77aba9d4aff60465705.pdf

3- Mahdavinejad M. High-Performance Architecture: Search for Future Legacy in Contemporary Iranian Architecture. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 2017 Mar 14;9(17):129-138. [Persian] Available from: http://www.armanshahrjournal.com/article_44611_955a20b5cfd1f32308e627ddc8528b91.pdf

4- Mahdavinejad M, Hosseini SA. Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). *Journal of Architecture and Urbanism*. 2019 Feb 1;43(1):71. https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209

5- Diba D. Contemporary architecture of Iran. *Architectural Design*. 2012 May;82(3):70-9. https://doi.org/10.1002/ad.1406

6- Bolouhari S, Barbera L, Etessam I. Learning Traditional Architecture for Future Energy-Efficient Architecture in the Country; Case Study: Yazd City. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2020 Sep 10;10(2):85-93. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.3.1

7- Ghanbaran A, Hosseinpour M A. Assessment of design parameter influence on energy efficiency in educational buildings in Tehran's climate. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2016 Nov 10;6(3):51-62. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1395.6.3.3.5

8- Eskandari H, Saedvandi M, Mahdavinejad M. The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. *Buildings*. 2018; 8(1):3. https://doi.org/10.3390/buildings8010003

9- Mahdavinejad M, Zia A, Larki AN, Ghanavati S, Elmi N. Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. *International journal of sustainable built environment*, 2014 Dec 1;3(2):235-46. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.06.003

10- Mahdavinejad M. Designerly Approach to Energy Efficiency in High-Performance Architecture Theory. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2020 Sep 10;10(2):75-83. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.7.5

11- al Wahid Jassim JA. Designing a passive-cooling, sustainable windcatcher in hot, dry area. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences* (PEN). 2021 Aug 24;9(3):725-33. http://dx.doi.org/10.21533/pen.v9i3.2249

12- Fatahi K, Nasrollahi N, Ansarimanesh M, Khodakarami J, Omranipour A. Comparison of Thermal Comfort Range of Finn Garden and Historical texture of Kashan. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2021 May 10;11(1):53-63. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.4.7

13- Haghshenas M, Hadianpour M, Matzarakis A, Mahdavinejad M, Ansari M. Improving the suitability of selected thermal indices for predicting outdoor thermal sensation in Tehran. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Jul 27:103205. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103205

14- Heidari F, Mahdavinejad M, Werner LC, Roohabadi M, Sarmadi H. Biocomputational Architecture Based on Particle Physics. *Front. Energy Res.* 2021 July 08;9:620127. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.620127

15- Mostafaeipour A, Goudarzi H, Khanmohammadi M, Jahangiri M, Sedaghat A, Norouzianpour H, Chowdhury S, Techato K, Issakhov A, Almutairi K, Hosseini Dehshiri SJ. Techno-economic analysis and energy performance of a geothermal earth-to-air heat exchanger (EAHE) system in residential buildings: A case study. *Energy Science & Engineering*. 2021 Aug 5. https://doi.org/10.1002/ese3.952

16- Moradinasab H, Khaksar A. Investigation of troglodytic architectural adaptation with temperature climate element at heat period; Case Study: Village of Troglodytic Meymand. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2021 May 10;11(1):83-93. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.1.4

17- Rasoolzadeh M, Moshari M. Prioritizing for Healthy Urban Planning: Interaction of Modern Chemistry and Green Material-based Computation. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2021 May 10;11(1):94-105. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.7.0

18- Zafarmandi S, Mahdavinejad M. Technology of Modern Windcatchers: A Review. *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan*. 2021 Jul; 31(3):1-11. https://doi.org/10.22068/ijaup.31.3.549

19- Torabifar S, Suzanchi K. The Investigation, Classification, and Prioritization of Factors Affecting the Selection of Vertical Greenery Systems as Building Façade and Their Structural Components. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2021 Apr 10;11(1):64-82. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.3.6

20- Valitabar M, Mahdavinejad M, Skates H, Pilechiha P. A dynamic vertical shading optimisation to improve view, visual comfort and operational energy. *Open House International*. 2021 Jul 9. https://doi.org/10.1108/OHI-02-2021-0031

21- Attarian K, SafarAli Najar B. Defining Sustainability Characteristics for Residential Buildings in Hot and Humid Climate (Case Study: Traditional Houses of Ahwaz). *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2018 Dec 10;8(3):161-170. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1397.8.3.3.9

22- Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R. Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*. 2020 Mar 1;28:101011. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101011

23- Talaei M, Mahdavinejad M. Probable cause of damage to the panel of microalgae bioreactor building façade: Hypothetical evaluation. *Engineering Failure Analysis*. 2019 Jul 1;101:9-21. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.060

24- Yousefian S, Pourjafar M, Ahmadpour Kalahrodi N. Impacts of High-Rise Buildings Form on Climatic Comfort with Emphasis on Airflow through ENVI-met Software. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2017 Jul 10;7(2):1-10. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1396.7.2.2.9

25- Pourjafar M, Mahmoudinejad H, Ahadian O. Design with nature in bio-architecture with emphasis on the hidden rules of natural

organism. *International Journal of Applied Science and Technology.* 2011 Jul;1(4):74-83. Available from: http://www.ijastnet.com/journals/Vol_1_No4_July_2011/9.pdf

26- Liu S, Luo Z, Zhang K, Hang J. Natural ventilation of a small-scale road tunnel by wind catchers: a CFD simulation study. *Atmosphere*. 2018 Oct;9(10):411. https://doi.org/10.3390/atmos9100411

27- Ahmadi J, Mahdavinejad M, Asadi S. Folded double-skin façade (DSF): in-depth evaluation of fold influence on the thermal and flow performance in naturally ventilated channels. *International Journal of Sustainable Energy*. 2021 Jun 16:1-30. https://doi.org/10.1080/14786451.2021.1941019

28- Javanroodi K, Mahdavinejad M, Nik VM. Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied Energy*. 2018; 231: 714-46. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.116

29- Javanroodi K, Nik VM, Mahdavinejad M. A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. *Sustainable Cities and Society*. 2019; 49:101597. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101597

30- Mahdavinejad M, Javanroodi K. Natural ventilation performance of ancient wind catchers, an experimental and analytical study–case studies: one-sided, two-sided and four-sided wind catchers. *International journal of energy technology and policy*, 2014 Jan 1;10(1):36-60. https://doi.org/10.1504/IJETP.2014.065036

31- Eslamirad N, Kolbadinejad SM, Mahdavinejad M, Mehranrad M. Thermal comfort prediction by applying supervised machine learning in green sidewalks of Tehran. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2020 Apr 28; 9(4):361-374. https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2019-0028

32- JavadiNodeh M, Shahcheraghi A, Andalib A. An Evaluation of the Ecological Architecture Influenced by the Interaction Between Structural Environment and Nature in Cold Areas; Case Study: Two Traditional Houses in Ardabil. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2020 Dec 10;11(1):15-36. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.2.5

33- Fallahtafti R, Mahdavinejad M. Optimization of building shape and orientation for better energy efficient architecture. *International Journal of Energy Sector Management*. 2015 Nov 2; 9(4): 593-618. https://doi.org/10.1108/IJESM-09-2014-0001

34- Pilechiha P, Mahdavinejad M, Rahimian FP, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*. 2020 Mar 1; 261: 114356. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356

35- Rahbar M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L. Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*. 2019 Jul 3;33(8):689-705. https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919

36- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G, Vali K. Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Jul 1;70:102894. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102894

37- Hadianpour M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Haghshenas M, Kordjamshidi M. Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran, *Building and Environment*. 2019 Mar 1;150:164-180. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053

38- Taban M, Pourjafar M, Bemanian M, Heidari S. Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing the Shadow of Khavoons in Dezful Historical Context with the Use of Image Processing. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2012 Oct 10;2(2):79-90. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1391.2.2.1.3

39- Hadianpour M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Nasrollahi F. Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 2018 May 1; 39: 751-64. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003

40- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Building Simulation*. 2018 Apr 1;11(2):359-372. https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7

41- Ahmed T, Kumar P, Mottet L. Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 Mar 1;138:110669. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110669

42- Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R, Prieto A, Sangin H. Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*. 2021 Jun 5:102832. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102832

43- Yazhari Kermani A, Nasrollahi F, Mahdavinejad M. Investigation of the relationship between depth of overhang and amount of daylight indicators in office buildings of Kerman city. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 2018; 5(3): 129-36. https://doi.org/10.15171/ehem.2018.18

44- Mahdavinejad, M., Javanrudi, K. Comparative Evaluation of Airflow in Two kinds of Yazdi and Kermani Wind-Towers. *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi*. 2012 Dec 22;3(4):69-80. [Persian] Available from: https://jfaup.ut.ac.ir/article_29678.html?lang=en

45- Mazidi M. The Numerical Analysis of Performance of Wind Towers as Passive Cooling Systems in Hot, Arid Regions. *Iranian Journal of Energy*. 2008 Jul 10;11(2):39-46. [Persian] Available from: http://necjournals.ir/article-1-72-en.html

46- Bahadori MN. An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling. *Solar Energy*. 1985 Jan 1;35(2):119-29. https://doi.org/10.1016/0038-092X(85)90002-7

47- Mahdavinejad M, Doroodgar A, Mashayekhi M. Utilization of Wind Power as a Renewable Energy in Asbads, Case of Iran, Sistan. *InAdvanced Materials Research* 2012 (Vol. 433, pp. 1141-1145). Trans Tech Publications Ltd. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.433-440.1141

48- Yaghoubi M., Sabzevar A, Golneshan A. Wind Towers: Measurement and Performance. *Solar Energy*. 1991 Jan 1;47(2):97–106. https://doi.org/10.1016/0038-092X(91)90040-4

49- Abouseba MR, Khodakarami J. Performance of single and multiple pressure wind catchers in terms of air flow changes. *International Journal of Energy and Environment*. 2014 Jul 1;5(4):521-34. https://www.ijee.ieefoundation.org/vol5/issue4/IJEE_10_v5n4.pdf

50- Montazeri H, Azizian R. Experimental study on natural ventilation performance of a two-sided wind catcher. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. 2009;223(4):387–400. https://doi.org/10.1243/09576509JPE651

51- Montazeri H, Montazeri F, Azizian R, Mostafavi S. Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling. *Renewable Energy*. 2010 Jul 1;35(7):1424–1435. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.12.003

52- Varela-Boydo, C. A., & Moya, S. L... Inlet extensions for wind towers to improve natural ventilation in buildings. Sustainable Cities and Society, 2020- 53. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101933

53- Harrouz JP, Ghali K, Ghaddar N. A Passive Ventilation and Air Conditioning System for an Office Space In Hot Climate. In *Heat Transfer Summer Conference* 2021 Jun 16 (Vol. 84874, p. V001T01A005). American Society of Mechanical Engineers. https://doi.org/10.1115/HT2021-62520

54- Zaki, A., Richards, P., & Sharma, R.. Analysis of airflow inside a two-sided wind catcher building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2019 Jul 1;190:71-82. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.04.007

55- Montazeri H, Montazeri F. CFD simulation of cross-ventilation in buildings using rooftop wind-catchers: Impact of outlet openings. *Renewable Energy*. 2018 Apr 1;118:502-20. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.032

56- Montazeri H, Blocken B. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: validation and sensitivity analysis. *Building and Environment*. 2013 Feb 1;60:137-49. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.012

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی