



Optimization the Position of the Windows for Improved Natural Ventilation, Thermal Comfort and Daylight in Yazd City

Seyed Hossein Neshat Safavi¹, Hassan Zolfagharzadeh^{2*}, Mustafa Mafi³, Akram Esfandiari⁴

¹MSc., Department of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

²Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

³Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

⁴Faculty Member, Department of Architecture and Urban planning, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 05.28.2021

Revised: 07.15.2021

Accepted: 09.06.2021

Keyword:

Natural ventilation

CFD method

Window position

Thermal comfort

Daylight

*Corresponding Author:

Hassan Zolfagharzadeh

Email:

zolfagharzadeh_h@ikiu.ac.ir

ABSTRACT

In recent decades, the use of natural energy sources such as light and solar energy in the field of construction and architecture has been very useful. The aim of this study was to investigate the effect of the location of openings on indoor air flow distribution for thermal comfort of users and natural ventilation, in addition to the distribution of daylight factor and pmv in space. Air circulation, wind speed, air temperature and daylight factor in 16 scenarios of placement of openings in a cube-shaped residential architecture was studied in the hot and dry climate of Yazd as a case study. In addition, in the present article, computer modeling method, library studies and field measurement were used. The analyses of air circulation, wind speed, air temperature and user satisfaction (PMV) were carried out using CFD method in Design Builder software and the amount of daylight factor (DF) distribution, uniformity rate (Uo) were analysed using Relux Software. The results indicated that the placement of one opening in the direction of the prevailing wind and the other two openings in its lateral directions provided the desired air flow and turbulence with appropriate speed and air circulation creating thermal comfort conditions for users in space. The amount of ventilation and air circulation in space, speed, temperature and distribution were balanced. In this scenario, the user satisfaction index (PMV) was 5% higher than other scenarios and the amount of daylight distribution and visual comfort (uniformity rate = 0.6) were in the appropriate range.





دانشگاه فنی و حرفه‌ای
تفاهارزدی

کارافن

فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

زمستان ۱۴۰۰، دوره ۱۸، شماره ۴، ۴۱۰-۳۹۵

آدرس نشریه: <https://karafan.tvu.ac.ir/>

doi:10.48301/KSSA.2021.278122.1437

20.1001.1.23829796.1400.18.4.24.9



شاپای الکترونیکی: ۴۴۳۰-۲۵۳۸

شاپای چاپی: ۹۷۹۶-۲۳۸۲

مقاله پژوهشی

بهینه‌یابی موقعیت بازشوها برای بهبود تهویه طبیعی، آسایش حرارتی و توزیع بهینه نور روز در شهر یزد

سید حسین نشاط صفوی^۱، حسن ذوالفقارزاده^{۲*}، مصطفی مافی^۳، اکرم اسفندیاری^۴

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.
۲. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.
۴. عضو هیئت علمی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

چکیده

در دهه‌های اخیر استفاده از منابع طبیعی انرژی همچون نور و انرژی خورشید در بخش ساختمان‌سازی و معماری، بسیار مفید واقع شده است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مکان قرارگیری بازشوها بر چگونگی توزیع جریان هوای داخلی برای آسایش حرارتی کاربران و تهویه طبیعی و نیز چگونگی توزیع فاکتور نور روز در فضا و میزان pmv، انجام گردیده است. بنابراین در راستای اهداف تحقیق، گردش هوا، سرعت باد، دمای هوا و عامل نور روز در ۱۶ طرح از قرارگیری بازشوها در یک فضای معماری مسکونی معکب شکل در اقلیم گرم و خشک شهر یزد به‌عنوان مدل مطالعاتی بررسی شده است. در مقاله حاضر از روش مدل‌سازی کامپیوتری، مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بهره برده شده است؛ به این صورت که تحلیل‌های گردش هوا، سرعت باد، دمای هوا و میزان رضایتمندی کاربران (PMV) با استفاده از روش CFD در نرم‌افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) و میزان توزیع فاکتور نور روز (DF)، نرخ یکنواختی (Uo) و شدت روشنایی (Illuminance) با استفاده از نرم‌افزار ریلوکس (Relux) انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که قرارگیری یک بازشو در جهت وزش باد غالب و دو بازشوی دیگر در جهت کناری آن، توانسته جریان و تلاطم هوایی مطلوب را با سرعت و گردش هوایی مناسب، به‌منظور ایجاد شرایط آسایش حرارتی کاربران در فضا فراهم آورد. در طرح انتخابی، میزان شاخص رضایتمندی کاربران از فضا (PMV) ۵ درصد نسبت به سایر سناریوها بیشتر است. همچنین میزان توزیع عامل نور روز، شدت روشنایی و رسیدن به حد آسایش بصری نیز (نرخ یکنواختی= ۰.۶) در محدوده مناسبی است.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷

بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

کلید واژگان:

تهویه طبیعی

روش CFD

موقعیت بازشوها

آسایش حرارتی

نور روز

*نویسنده مسئول: حسن ذوالفقارزاده

پست الکترونیکی:

zolfagharzadeh_h@ikiu.ac.ir



© 2022 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

مقدمه

آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی، در چند دهه اخیر به ایجاد بحران‌های زیست‌محیطی جدی از جمله آسیب به لایه اوزن منجر شده است [۱]. از سوی دیگر منابع رو به پایان سوخت‌های فسیلی، بسیاری را به فکر منابع جایگزین انداخته است. پیشرفت‌هایی در زمینه‌های مختلف برای ایجاد راهکارهای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کنترل یا پالایش ترکیبات ناشی از احتراق حاصل شده است. در صنعت ساختمان نیز گرایش به راهکارهای تولید انرژی پاک و همسازی با اقلیم مدتی است که پررنگ شده است [۲]. از طرفی، پوسته‌های ساختمان در تماس مستقیم با محیط بیرونی و عوامل طبیعی هستند و نماها به‌عنوان اصلی‌ترین پوسته‌های در تماس با این عوامل مطرح می‌باشند. نما تنها یک پوسته خنثی که وظیفه جداسازی داخل و خارج را بر عهده دارد، نیست بلکه می‌تواند فراتر از این عمل کند و به جزئی فعال بدل شود که باعث تعامل داخل ساختمان با محیط اطراف گردد؛ از این رو بازشوهای ساختمان به‌عنوان رابط ساختمان با محیط بیرون می‌توانند نقش موثری در برخورداری از منابع طبیعی انرژی در ساختمان ایفا کنند [۳؛ ۴]. از طرفی، ساختمان‌ها در مقایسه با سایر مصنوعات، عمر نسبتاً طولانی‌تری دارند و در طول تمام مراحل ساختمان‌سازی، تجهیز کردن و تخریب یا استفاده دوباره از آن‌ها، در توسعه پایدار تأثیرگذار خواهند بود. بنابراین، هرگونه تلاشی که در راستای کمک به حفظ محیط‌زیست، کاهش آلودگی، کاهش مصرف منابع سوختی تجدیدناپذیر، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و نیروهای طبیعی نظیر باد، خورشید و کاهش میزان هزینه‌های مصرفی ساختمان باشد را می‌توان در راستای رسیدن به توسعه پایدار تلقی کرد؛ بنابراین استفاده از نیروی باد برای ایجاد تهویه و جریان هوای داخل فضا که منجر به اهداف مذکور می‌شود را نیز می‌توان در این راستا تلقی کرد [۵]. از این رو تحقیق حاضر بر آن است که با به‌کارگیری منابع انرژی طبیعی همچون انرژی خورشیدی و باد بتواند به فراهم آوردن فضاهای معماری مناسب برای کاربران از نظر توزیع مناسب تهویه طبیعی، نور روز و نیز بهبود رضایتمندی کاربران کمک کند.

پیشینه تحقیق

پژوهش در زمینه تهویه طبیعی به سال ۱۹۴۰ برمی‌گردد. مطالعات بسیاری در زمینه تهویه طبیعی در ساختمان‌های مسکونی، بیمارستان‌ها و غیره در طول چند دهه گذشته انجام شده است [۶-۱۲]. چگونگی تهویه طبیعی در ساختمان‌های کم‌ارتفاع از طریق توزیع فشار بر نما نیز ارزیابی گردیده است. از طرفی اندازه و موقعیت بازشوها نیز همچون دیوار بر چگونگی تهویه تأثیرگذار می‌باشد [۱۳]. الگوی باد و توزیع فشار در اطراف و داخل ساختمان تحت تأثیر جهات مختلف باد نیز بررسی شده است [۱۴؛ ۱۵]. همچنین در تحقیقی بررسی شده است که استفاده از جهت‌گیری مناسب ساختمان با توجه به فراهم آوردن باد مطلوب می‌تواند به ایجاد یک تهویه طبیعی مناسب منجر شود [۱۶]. می‌توان گفت که تهویه طبیعی، روشی سنتی و تأثیرگذار برای سرمایش و تهویه ساختمان‌ها در بسیاری از ساختمان‌های قدیمی است. اخیراً افزایش توجه به تهویه طبیعی در ساختمان‌های مناطق گرم و خشک جهان، روند رو به رشدی داشته است [۱۷]. در طراحی هر سیستم تهویه، فعل و انفعالات هوا و ساکنان، نقش حیاتی ایفا می‌کند؛ از این رو در بیشتر طرح‌ها، هدف، ایجاد آسایش حرارتی ساکنان در یک فضای بسته می‌باشد [۱۸]. از طرفی برای بررسی توزیع بهینه روشنایی و نور روزانه در یک فضا نیز متغیر فاکتور نور روزانه بررسی می‌شود؛ به این شکل که برای دستیابی به حداقل فاکتور روشنایی ۲ درصد ابتدا باید سطوح روشنایی در یک فضای معماری در لوکس یا فوت کندل اندازه‌گیری شوند [۱۹]. میزان فاکتور نور باید بین ۲ تا ۶ درصد قرار گیرد؛ زیرا کمتر از ۲ درصد نامناسب و بیشتر از ۶ درصد باعث خیرگی می‌گردد [۲۰؛ ۲۱].

اهداف پژوهش

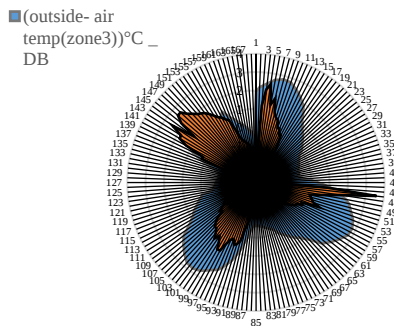
پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر موقعیت قرارگیری بازشوها به عنوان یک متغیر مستقل بر چگونگی توزیع جریان هوا، نور روز و رضایتمندی کاربران (pmv) به عنوان متغیرهای وابسته، به مدل سازی یک نمونه فضای معماری مسکونی در اقلیم گرم و خشک شهر یزد (ایران) با استفاده از روش CFD در نرم افزار دیزاین بیلدر پرداخته است. همچنین از آنجا که توزیع مناسب نور روزانه در فضا نیز در این اقلیم، به ویژه از نظر کاهش بار سرمایشی بسیار مهم و مورد توجه بوده است؛ چگونگی تأثیر این عامل نیز با استفاده از نرم افزار ریلوکس (Relux) بررسی شده است. در واقع این پژوهش، تأثیر موقعیت قرارگیری بازشوها در ساختمان بر چگونگی گردش هوا، نور روزانه و رضایتمندی کاربران را بررسی کرده است. همچنین در مورد چگونگی تأثیرگذاری مکان یابی مناسب بازشوها در ساختمان بر آسایش حرارتی (از نظر توزیع باد و دما) و رضایتمندی کاربران به عنوان عنصری مهم و قابل توجه، بحث شده است. چنین پژوهشی می تواند در رسیدن به یک معماری پایدار و سبز، در راستای کمک به کاهش میزان مصرف انرژی، سوخت های فسیلی، آلودگی، گرمای جهانی و ایجاد محیط های مطلوب معماری برای کاربران، نقش مهمی داشته باشد.

روش پژوهش

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه ای به تحقیق و مطالعه در زمینه تهویه طبیعی و نور روز پرداخته شده است، سپس با در نظر داشتن خلأ مطالعاتی موجود به تحلیل شرایط اقلیمی و جغرافیایی محدوده مطالعاتی موجود و داده های گرفته شده از سازمان هواشناسی پرداخته و در مرحله بعدی مدل سازی نمونه اتاقک های در نظر گرفته شده برای تحقیق با استفاده از روش CFD در نرم افزار دیزاین بیلدر انجام شده است. در مدل مورد بررسی، یک فضای معماری مکعبی شکل مطابق جدول ۲ و ۱ با وجود پروفایل آلومینیومی و با ظرفیت گرمایی ویژه ۰.۸۹۷ و با ضخامت ۵ سانتی متر در اقلیم گرم و خشک شهر یزد طبق اطلاعات آورده شده در بخش اقلیمی تحقیق حاضر می باشد. در بررسی تهویه طبیعی، چگونگی سرعت باد و چرخش آن در فضا بررسی شد که طبق ابزار آسایش CBE Thermal Comfort Tool در کدام دما و سرعت باد، شرایط آسایش حرارتی بهتری برای ساکنان فراهم می آید. همچنین در بررسی های نور روز، میزان عامل نور روز برای یک فضای مسکونی ۳۰۰-۲۰۰ وات طبق استاندارد مقررات ملی ایران در نظر گرفته شد. در مدل سازی ها موقعیت های مختلف بازشوها آنالیز گردید. در مرحله بعدی، چگونگی مسیر جریان هوا در محدوده آسایش حرارتی کاربران فضا در ۱۶ طرح بررسی شد. در نهایت، طرح بهینه از نظر گردش هوا و شرایط آسایش حرارتی و بصری کاربران در فضا به دست آمد.

استفاده از روش CFD در زمینه تهویه از سال ۱۹۷۰ آغاز گردید و کاربرد آن در تعدادی از مقالات به عنوان یک مورد آزمون شده تا سال ۱۹۹۰ کمتر از ۱۰ عدد بود اما در حال حاضر بین ۶۰ تا ۷۰ مورد در سال می باشد. انجمن محیط های داخلی، CFD را ابزاری مفید برای پیش بینی حرکت هوا در فضاهای نیازمند تهویه شناخته است. این روش، سال های زیادی به عنوان روش تحقیق و پژوهش در مقالات استفاده شده است. کاربرد CFD به طور چشم گیری از سال ۱۹۹۰ افزایش یافت اما این امر هنوز باعث جایگزین شدن این روش با روش تجربی نشده است. در روش CFD می توان با استفاده از روش های کامپیوتری، شبیه سازی، الگوریتم های تئوری و عددی به توزیع جریان هوا در محیط پرداخت و راه حل های عددی مورد استفاده؛ توسط معادلات جرم، تکانه و انرژی به دست می آیند. این روش، یک تکنولوژی مدرن است که computational fluid dynamic نامیده می شود. افراد بسیاری در تحقیقات علمی خود از روش CFD استفاده کرده اند و به این نتیجه رسیده اند که CFD گزینه ای مقرون به صرفه برای پیش بینی رفتار جریان هوا در ارتباط با انتقال حرارت در ساختمان می باشد [۲۲]. همچنین در مراحل بعدی تحقیق برای بررسی وضعیت روشنایی مدل از شبیه سازی

رایانه‌ای با کمک نرم‌افزار ریلوکس^۱ استفاده شده است [۲۳؛ ۲۴]. درنهایت، پس از شبیه‌سازی مدل‌های پیشنهادی در نرم‌افزار مربوطه، تحلیل و مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده با استانداردهای موردنظر، در راستای رسیدن به اهداف تحقیق با هدف ارائه نتایج مهم تحقیق انجام شد. در این راستا به‌منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با شرایط واقعی، ابتدا اندازه‌گیری میدانی توسط دستگاه دیتا لاگر انجام گرفت؛ به این صورت که با قرار دادن دستگاه اندازه‌گیری در یک فضای مسکونی میزان دمای شبانه‌روز هوا اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری با داده‌های خروجی نرم‌افزار (طبق نمودار ۱) مقایسه شد. مشاهده می‌شود که تفاوت بین دو روش، ناچیز می‌باشد؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی‌ها می‌تواند تا حد زیادی معتبر و قابل استناد باشد. از آنجا که امکان بررسی و اعتبارسنجی نرم‌افزار از نظر چگونگی کارکرد تهویه طبیعی از نظر در دسترس نبودن دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب و دشواری انجام صحیح و دقیق مقایسه‌ها و آزمایش‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ در بررسی‌ها دمای هوا در نظر گرفته شد.



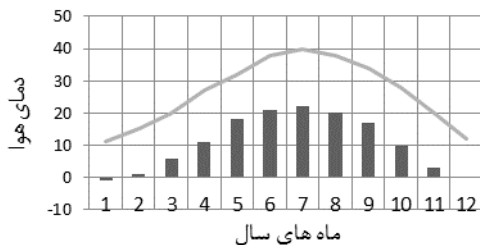
شکل ۱. مقایسه نتایج دمایی به‌دست‌آمده در دو روش اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر [۲۵]

شبیه‌سازی و آنالیز

شناخت سایت و اقلیم

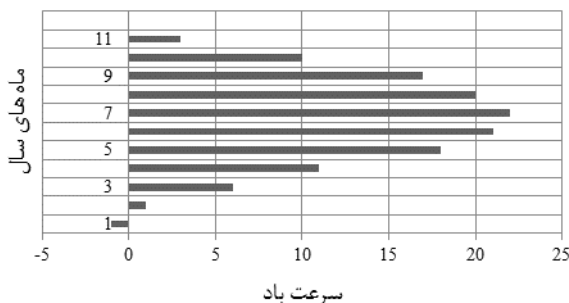
طبق اطلاعات زمین‌شناسی، قسمت اعظم از سرزمین ایران یا به‌عبارت‌دیگر بیش از دوسوم از وسعت خاک کشور را فلات مرکزی ایران تشکیل می‌دهد. شهر یزد نیز در میان فلات مرکزی ایران قرار گرفته است و دارای آب‌وهوای گرم و خشک بیابانی می‌باشد. نوسان دمای آن در تابستان و زمستان و حتی در شب و روز، بسیار بالا و متغیر است که از ویژگی‌های آب‌وهوایی این مناطق به‌شمار می‌رود. شهرستان یزد در عرض جغرافیایی ۳۱.۸۸ درجه شمالی و ۵۴.۲۸ درجه شرقی قرار دارد. طبق اطلاعات به‌دست‌آمده از سازمان هواشناسی، نمودار ۳ میانگین کمینه و بیشینه دما را در این استان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است بیشینه دمای ماهانه در یک سال نزدیک به ۴۰ درجه سانتی‌گراد و کمینه دما نزدیک به صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این امر نشان از آن دارد که بار سرمایشی بالا نیاز به تهویه و سرمایش را در این ناحیه ضروری کرده است.

¹ Relux



شکل ۲. میانگین کمینه و بیشینه دما در شهر یزد (ایران)

طبق اطلاعات تهیه‌شده از سازمان هواشناسی ایران در سال‌های اخیر، جهت باد در این استان، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی می‌باشد و همچنین باد غالب، باد غرب و جنوب‌شرق (به‌خصوص از اواسط بهار تا اوایل پاییز) و باد مطلوب، باد شمال‌غرب می‌باشد. شدیدترین بادهای معمولاً از غرب می‌وزد و بزرگ‌ترین رقمی که به ثبت رسیده است ۶۵ نات معادل ۱۲۰ کیلومتر در ساعت بوده است. نمودار ۴ نیز میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف در این استان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در بیشتر ماه‌های سال، سرعت باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه می‌باشد و حداقل آن حدود ۳ متر بر ثانیه می‌باشد. این امر نشان از آن دارد که می‌توان از این نیروی طبیعی به بهترین صورت در راستای اهداف موردنظر استفاده کرد.



شکل ۳. میانگین سرعت باد در ماه‌های سال در شهرستان یزد

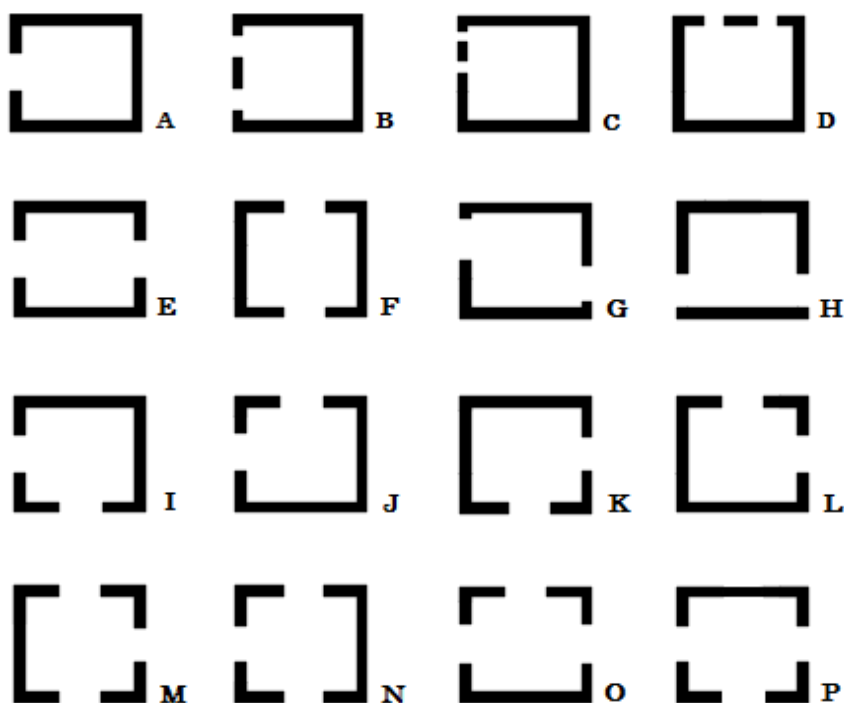
در این مرحله از تحقیق، به بررسی طرح‌های در نظر گرفته شده با استفاده از روش CFD و نیز تحلیل روشیایی پرداخته شده است. همان‌طور که اشاره شد موقعیت‌های مختلف قرارگیری بازشوها در یک نمونه فضای بسته معماری از نظر جریان هوای داخلی به‌منظور ایجاد تهویه طبیعی و آسایش حرارتی و بصری کاربران بررسی شده است. همچنین در جدول ۱ ویژگی‌های وارد شده در اتاق، مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها آمده است. جدول ۲ نیز ویژگی‌های مصالح مورد استفاده در معماری سناریوهای موردنظر را بیان می‌کند. همان‌طور که مشخص است در مدل‌سازی‌ها از دیوار آجری، نمای بتنی و همچنین هوا برای تهویه استفاده شده است. در شکل ۲ نیز هندسه طرح‌های موردبررسی در ۱۶ حالت مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی هوای در نظر گرفته شده در شبیه سازی [۲۶]

	Density (kg/m ³)	Cp(j/kg-k)	Thermal conductivity(w/m-k)	Viscosity(kg/m-s)
Air	1.225	1006.43	0.0242	1.7894E-05

جدول ۲. خصوصیات ترموفیزیکی متریال ها [۲۶]

Material and fluid	Density(kg/m ³)	Heat c _p ($\frac{J}{kg \cdot K}$)	Thermal conductivity k (W/Mk)	Dynamic viscosity μ (Kg/ms)	Thermal expansion coefficient (1/k)
Air	1.16	1010	0.024	1.9×10^{-5}	0.001
Brick	1920	840	0.72	-	-
Concrete	2300	1000	1.13	-	-

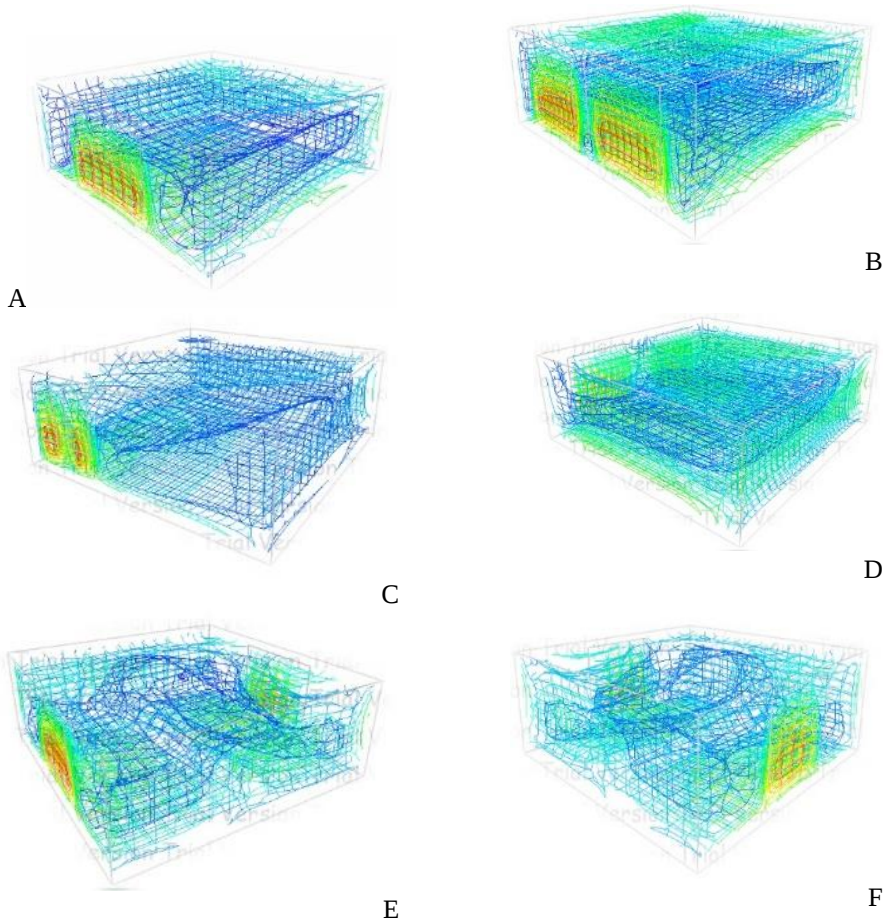


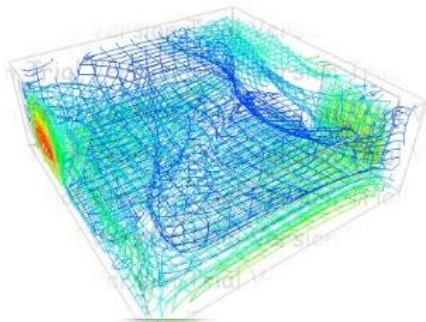
شکل ۴. مدل های مختلف اتاق از نظر موقعیت بازشوها در پلان (نگارنده)

تحلیل نتایج و بحث

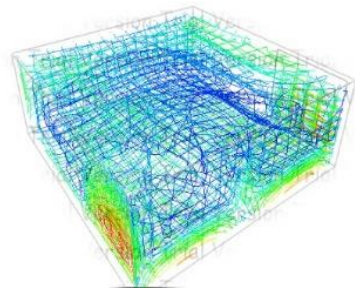
همان طور که در بخش مقدمه نیز تا حدودی بیان شد استفاده از جریان هوا برای ایجاد سرمایش در ساختمان ها از گذشته های دور، در معماری سنتی ایران و سایر کشورها متداول بوده است. برای جایگزین کردن جریان طبیعی هوای خارج با هوای داخل، بدون استفاده از سامانه های مکانیکی، روش ها و عناصر معماری متعددی وجود دارد که از جمله مهم ترین آن ها بازشوها یا همان پنجره ها در نمای ساختمان است. تهویه در یک فضا به منظور ورود و خروج هوا از یک

فضای بسته می‌باشد. جریان هوای طبیعی درون یک فضا به دلیل اختلاف فشار در دریچه‌های ورود و خروج هوا اتفاق می‌افتد و این اختلاف فشار ممکن است توسط دو عامل مهم وزش باد یا اختلاف دما در اثر خاصیت شناوری که به پدیده دودکشی موسوم است صورت پذیرد. هرچه اختلاف فشار بین بازشوهای ورود و خروج هوا بیشتر باشد؛ سرعت جریان هوا در داخل ساختمان نیز بیشتر است. در این راستا به منظور بررسی چگونگی تهویه طبیعی و عبور جریان هوا به بررسی دما و سرعت باد غالب برای ۱۶ مدل هندسی مختلف پرداخته شده است. سپس همان‌طور که در روش تحقیق نیز آورده شده است با استفاده از ابزار تحلیلی اشری برای آسایش حرارتی در اقلیم موردنظر، این مورد بررسی شده است که در کدام سناریو شرایط آسایش برای کاربران فراهم و متعادل‌تر می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است کانتورهای سرعت عبور هوا برای هریک از مدل‌ها نشان داده شده است. در انتخاب ۱۶ مدل هندسی، به هندسه و موقعیت بازشوهای رایج در این اقلیم و اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع مختلف پژوهشی توجه شده است.

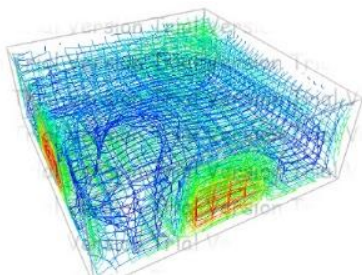




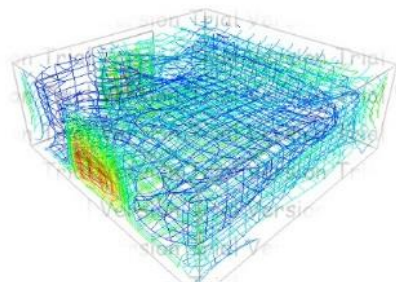
G



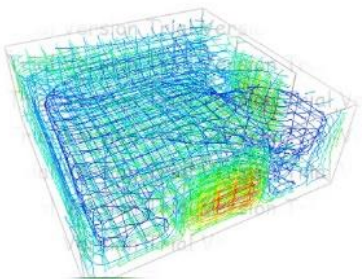
H



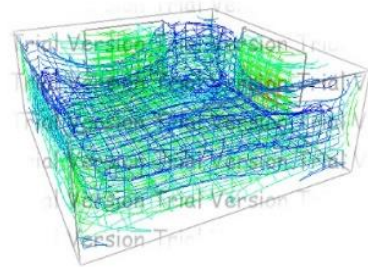
I



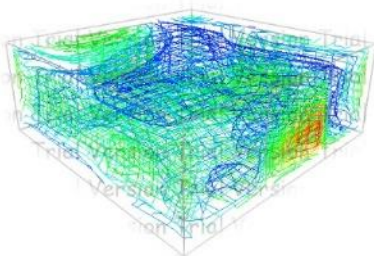
J



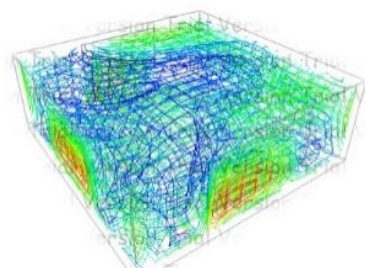
K



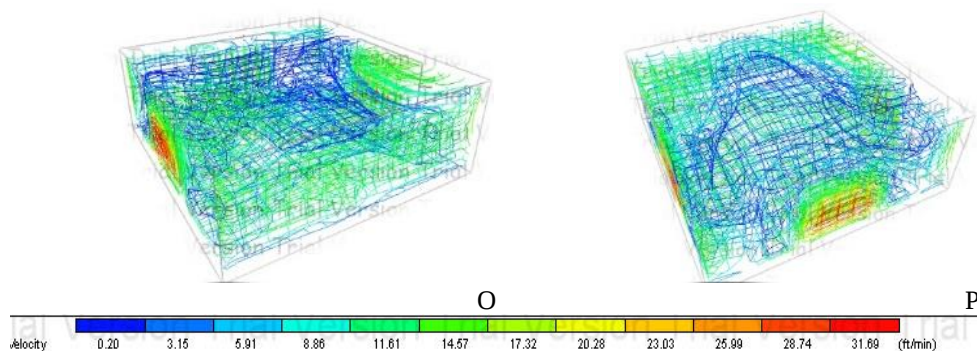
L



M



N



شکل ۵. کانتورهای جریان هوا در ۱۶ مدل انتخابی (نگارنده)

در مدل‌های A, B, C, D که بازشوها در یک جهت فضا قرار داده شده‌اند و جهت وزش باد نیز از سمت غرب می‌باشد تلاطم زیادی از جریان هوا در فضا مشاهده نشده است اما در حالت‌های E, F, G, H که بازشوها در دو جبهه از فضا قرار گرفته‌اند تلاطم هوا تا حدی بهبود یافته است؛ به گونه‌ای که در حالت F که بازشوها در جهت وزش باد قرار نگرفته‌اند گردش هوا در کمترین حالت خود و برای حالت G که پنجره‌ها در دو جهت مختلف قرار گرفته‌اند گردش هوای بهتری مشاهده می‌شود. این روند در حالت‌های I, J نیز تا حدودی مناسب بوده است اما در حالت‌های N, O, P گردش هوا در فضا به حداکثر خود رسیده است. همچنین می‌توان فهمید که تهویه داخلی با پنجره‌های دو دیوار مجاور هنگامی که جهت باد عمود بر یکی از آن‌ها باشد متعادل‌تر و در صورتی که هر دو پنجره در دیوارهای با فشار هوای یکسان (هر دو مثبت یا هر دو منفی) تعبیه شوند اصولاً تهویه قابل ملاحظه‌ای صورت نمی‌پذیرد. برای ایجاد حداکثر جریان هوا در اتاق، بهتر است پنجره‌های رو به باد و پنجره پشت به باد، کاملاً روبه‌روی هم قرار نگیرند تا امکان گردش بهتر هوا در اتاق فراهم گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از نظر چگونگی جریان هوای بهینه در میان ۱۶ مدل مختلف، مدل‌های G, I, J, N, O, P نسبت به سایر مدل‌ها نتایج بهتری را ارائه داده‌اند اما حالت‌های I, J نسبتاً در حد پایین‌تری قرار دارند. در واقع در حالت‌های O, P جریان هوا از سمت غرب وارد و از جبهه مقابل خارج می‌شود و گردش هوای چندانی ایجاد نمی‌گردد اما در حالت N گردش هوا به صورت بهینه‌تری در فضا فراهم شده است. برای درک بهتر موضوع، داده‌های کمی به دست آمده در هر طرح نیز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقدار کمی محدوده سرعت و جریان باد در داخل فضا برای هر سناریو با هدف بررسی در ابزار آسایش

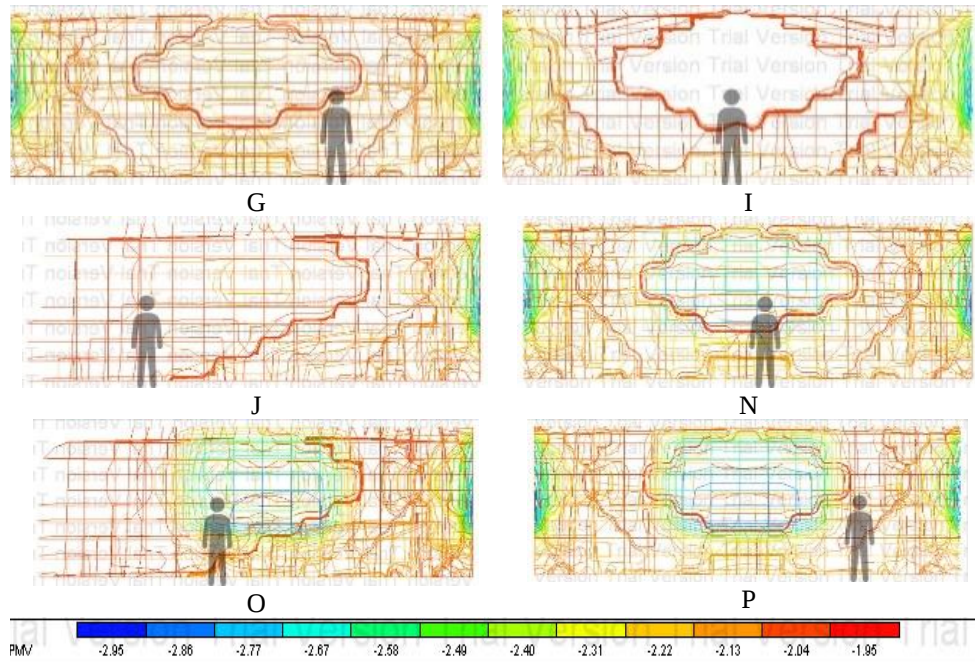
CBE Thermal Comfort Tool (نگارنده)

سناریو	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
محدوده	-0.25	1-	-0.20	1.5-	4-	4.3-	3-	3.4-	2.5-	2.8-	3-	3.2-	4.2-	5.5-	5.2-	5-
سرعت	3	7	3.1	7.6	8	8.3	7	7.5	7.2	6.2	6.5	6.8	7.2	10.3	9.7	9.2

باد (ft/min)

همان‌طور که از شکل ۶ و جدول ۴ نیز مشخص است با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در ابزار آسایش استاندارد اشری از نظر میزان سرعت و دمای هوا، در این مرحله از تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که محدوده رضایتمندی در حالت I, J محیط کمتری را اشغال کرده است و ناحیه سر فرد به بالا در واقع خالی از شاخصه‌ای برای رضایتمندی (PMV) می‌باشد. در حالت G این میزان رضایتمندی و حداکثر عدد PMV در محدوده متعادل‌تری قرار گرفته است اما در

حالت‌های O، P و N این عدد به میزان پایین‌تری و نزدیک به ناحیه صفر و مثبت‌ها رسیده است. همین‌طور در حالت N خطوط رضایتمندی پراکنده‌تر و محدوده بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده سر و گردن فرد، به میزان بیشتری در این محدوده قرار گرفته است؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که حالت N نسبت به سایر سناریوها از نظر ایجاد تهویه طبیعی در راستای آسایش و رضایتمندی کاربران به گونه بهتری عمل کرده است و محیط متعادل‌تری را فراهم آورده است.



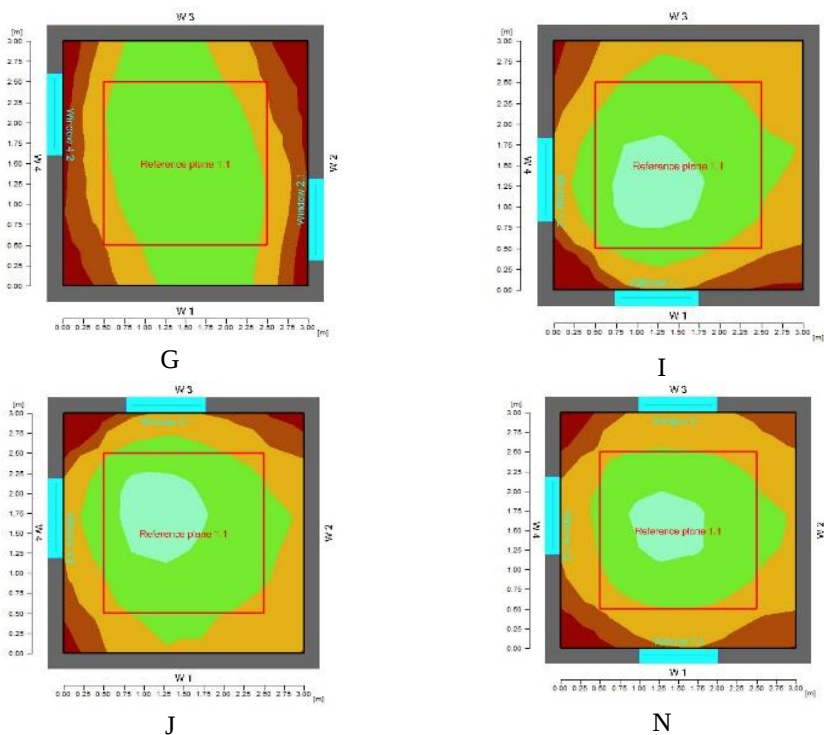
شکل ۶. منحنی میزان pmv برای ۶ مدل بهینه انتخابی در میان ۱۶ مدل موجود (نگارنده)

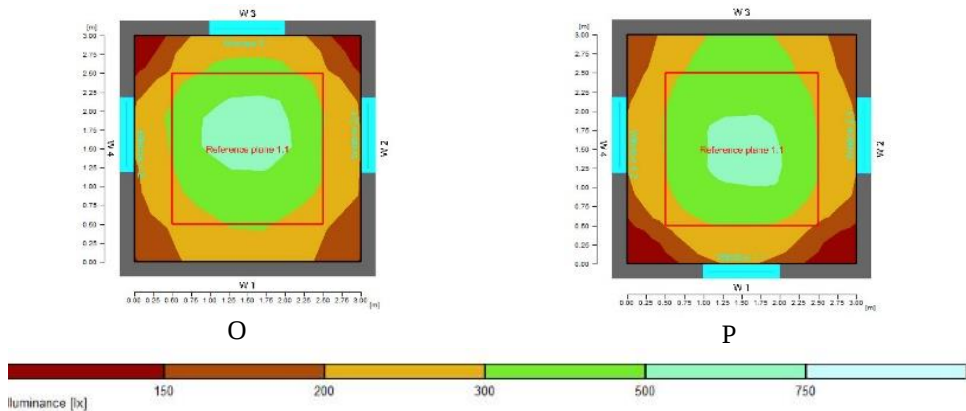
جدول ۴. مقدار کمی میزان رضایتمندی (pmv) در داخل فضا برای هر سناریو (نگارنده)

سناریو	G	I	J	N	O	P
میزان رضایتمندی (pmv)	-۲.۴	-۲.۸	-۲.۶	-۱.۲	-۱.۸	-۲.۲

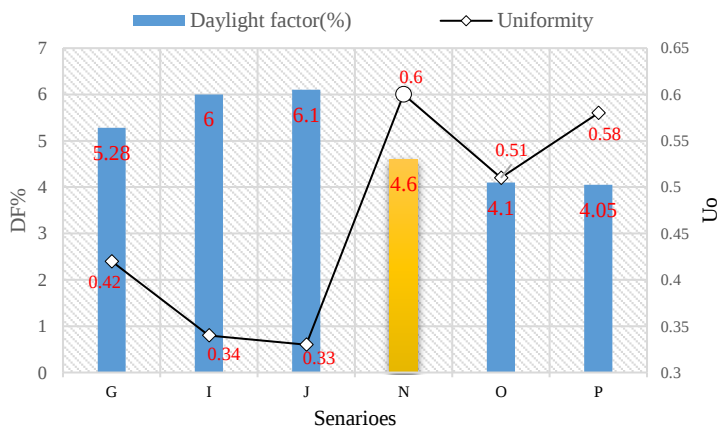
همچنین وجود بازشوها در یک فضا متعاقباً در میزان ورود نور روز نیز تأثیرگذار می‌باشد؛ بنابراین در این مرحله پس از بررسی میزان گردش هوا و رضایتمندی، چگونگی میزان نور روزانه و روشنایی وارد شده در هریک از این ۶ سناریو موردنظر پرداخته شده است. همان‌طور که از شکل ۵ نیز مشخص است برای هر سناریو گراف توزیع شدت روشنایی در محیط آورده شده است. در همه سناریوها شدت روشنایی توزیع شده در فضا، محدوده‌ای بین ۱۵۰ تا ۷۵۰ لوکس را به خود اختصاص داده است اما چگونگی و کیفیت این توزیع شدت روشنایی در همه سناریو یکسان نمی‌باشد و بسته به موقعیت قرارگیری بازشوها متفاوت است. از آنجا که شدت روشنایی استاندارد برای فضاهای مسکونی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ لوکس است؛ سناریوای که در آن این محدوده به‌صورت بهتر و متعادل‌تری توزیع شده باشد، به‌عنوان سناریوی بهینه

شناخته می‌شود؛ در واقع هرچه ناحیه سبز رنگ در فضا به میزان کوچک‌تری باشد؛ توزیع نور بهتر بوده است. در نهایت بنابر نتایج به‌دست‌آمده، در سناریوی I, J این ناحیه به میزان بیشتری بوده است و سپس در سناریوی G و در آخر در سناریوی N نسبت به سایر سناریوها محدوده استاندارد به میزان بهتر و بیشتری توزیع یافته است. همچنین میزان عامل نور روز و نرخ یکنواختی در هر سناریو نیز در نمودار ۵ آورده شده است. همان‌طور که از نمودار ۵ مشخص است میزان عامل نور روز استاندارد، هرچه در محدوده ۲ تا ۵ درصد باشد به‌صورت بهینه‌تری می‌باشد و همچنین میزان نرخ یکنواختی در فضا نیز که عددی بین ۰ و ۱ است هرچه به عدد ۰.۶ نزدیک‌تر باشد بیانگر این امر است که یکنواختی و آسایش بصری در فضا به‌صورت بهتری می‌باشد. در سناریوی N این اعداد نیز در محدوده متعادل‌تری قرار گرفته‌اند. در نهایت از آنجا که شدت و ورود نور روزانه در این اقلیم در طول روز، بسیار زیاد و آزاردهنده است؛ باید تمهیدات لازم برای سایه‌اندازی و استفاده از سایه‌بان‌ها برای بازشوهای در نظر گرفته‌شده، به‌خوبی اندیشیده شود تا بتوان محیطی مطلوب از همه نظر را برای کاربران فضا فراهم کرد.





شکل ۷. چگونگی توزیع شدت روشنایی در میان شش طرح موردنظر (نگارنده)



نمودار ۸. نتایج میزان نرخ یکنواختی و عامل نور روز در میان شش سناریو موردنظر (نگارنده)

نتیجه گیری

پژوهش حاضر در زمینه تهویه طبیعی، گردش بهینه هوا در داخل فضا، آسایش بصری، رضایتمندی کاربران با استفاده از روش CFD و شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر و همچنین نرم افزار تحلیل روشنایی ریلوکس در اقلیم گرم و خشک شهر یزد (ایران) انجام شده است. هدف اصلی در این مطالعه، بررسی تأثیر موقعیت بازشوها در یک فضای معماری با هدف فراهم آوردن شرایط مطلوب از نظر نور روز و تهویه طبیعی برای کاربران می باشد. در این مقاله، مدل های موردنظر برای یک فضای اتاقک مدل سازی شده، از نظر جریان هوا، به منظور ایجاد یک محیط خنک و آسوده برای رسیدن به رضایتمندی کاربران از نظر حرارتی و بصری بررسی شده است. پس از بررسی نتایج شبیه سازی ها، به دست آمده است که از میان ۱۶ مدل هندسی (A-P) اتاق با موقعیت های مختلف برای بازشوها، ۶ حالت بهینه (G, I, J, N, O, P) با توجه به چگونگی تغییرات متغیرهای وابسته تحقیق، نتایج نزدیک تری را در راستای اهداف تحقیق ارائه کرده اند. در نهایت نیز

پس از آنالیز و تحلیل شش مدل انتخابی، از میان آن‌ها تنها یک مدل نهایی (مدل N) به‌عنوان مدل بهینه‌ی هندسی اتاق از نظر قرارگیری موقعیت بازشوها انتخاب شده است. در انتخاب این مدل، به نتایج به‌دست‌آمده برای گردش هوای داخلی، میزان رضایتمندی حرارتی و بصری کاربران توجه شده است. در همه مدل‌سازی‌ها هدف، ایجاد یک جریان هوای مناسب به‌منظور رسیدن به اهداف تحقیق بوده است؛ به این شکل که چگونگی گردش هوا، شرایط ایجاد آسایش حرارتی و همچنین میزان شاخص رضایتمندی نیز برای مدل نهایی (N) تا ۵ درصد نسبت به سایر سناریوها افزایش داشته است. در واقع با قرارگیری یک بازشو در جهت وزش باد غالب و دو بازشوی دیگر در جهت کناری آن می‌توان به حداکثر استفاده مفید از جریان باد در داخل فضا دست یافت. همچنین در این سناریو، توزیع بهینه نور روز و روشنایی در داخل فضا به‌صورت متعادل‌تری انجام شده است و میزان نرخ یکنواختی آن نیز مناسب‌تر (نزدیک به ۰.۶) می‌باشد.

References

- [1] Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>
- [2] Tronchin, L., & Fabbri, K. (2008). Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation. *Energy and Buildings*, 40(7), 1176-1187. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.012>
- [3] Ding, Y.-h., Xu, X., Wang, Z.-y., Li, H.-r., & Wang, W.-p. (2014). The relation of infant attachment to attachment and cognitive and behavioural outcomes in early childhood. *Early Human Development*, 90(9), 459-464. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2014.06.004>
- [4] Zahiri, S., & Altan, H. (2016). The Effect of Passive Design Strategies on Thermal Performance of Female Secondary School Buildings during Warm Season in a Hot and Dry Climate. *Frontiers in Built Environment*, 2(10), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2016.00003>
- [5] Larijani, M., & Razi Kordmahaleh, L. (2017). Explaining the green job identification and prioritization of renewable energy domain: wind energy. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 14(42), 15-32. https://karafan.tvu.ac.ir/article_100503.html?lang=en
- [6] Akabayashi, S., Sakaguchi, J., & Tominaga, Y. (2003). Study on the evaluation of cross ventilated detached house. *The evaluation of building performance index and the proposal of synthesis cross ventilation evaluation index*, 46, 221-224.
- [7] Emmerich, S. J., Dols, W. S., & Axley, J. W. (2001). Natural Ventilation Review and Plan for Design and Analysis Tools | NIST. *National Institute of Standards and Technology, Technology Administration, U.S. Department of Commerce*. <https://www.nist.gov/publications/natural-ventilation-review-and-plan-design-and-analysis-tools>
- [8] Hiyama, K., Kato, S., Takahashi, T., Huang, H., Kobayashi, S., & Iwase, S. (2005). Field Measurement of Natural Ventilation System Designed in Hospital Building with Void (Environmental Engineering). *AIJ Journal of Technology and Design*, 11(22), 291-294. <https://doi.org/10.3130/aijt.11.291>
- [9] Kotani, H., Goto, T., Ohba, M., & Kurabuchi, T. (2009). Review of Cross-Ventilation Research Papers - from the Working Group for Natural Ventilation and Cross-Ventilation of the Architectural Institute of Japan. *International Journal of Ventilation*, 8(3), 233-241. <https://doi.org/10.1080/14733315.2009.11683848>

- [10] Martin, A., & Fitzsimmons, J. (2000). *Guidance Note GN 7/2000, Making natural ventilation work*. B. BSRIA, United Kingdom. https://www.bsria.com/uk/product/kn7W6n/making_natural_ventilation_work_gn_72000_a15d25e1/
- [11] Seppanen, O., & Fisk, W. (2002, June 30 - July 5). *Relationship of SBS-symptoms and ventilation system type in office buildings*. Proceedings of Indoor Air 2002 (9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate), Monterey, California, United States. <https://www.aivc.org/resource/relationship-sbs-symptoms-and-ventilation-system-type-office-buildings>
- [12] Zheng, Y. (2007). *A preliminary study on the utility of cross-ventilation in Southeast Asia: Part 2 improving cross-ventilation with a void in a TANGEN-type residential building*. Proceedings of Annual Meeting of The Architectural Institute of Japan.
- [13] Seifert, J., Li, Y., Axley, J., & Rösler, M. (2006). Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(12), 925-947. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.04.002>
- [14] Lin, H.-H., & Cheng, J.-H. (2020). A Study of the Simulation and Analysis of the Flow Field of Natural Convection for a Container House. *Sustainability*, 12(23), 9845. <https://doi.org/10.3390/su12239845>
- [15] Visagavel, K., & Srinivasan, P. (2009). Analysis of single side ventilated and cross ventilated rooms by varying the width of the window opening using CFD. *Solar Energy*, 83(1), 2-5. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.06.004>
- [16] Ayata, T., & Yildiz, O. (2006). Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey. *Energy and Buildings*, 38(8), 959-963. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.10.007>
- [17] Roth, K., Dieckmann, J., & Brodrick, J. (2006). Natural and hybrid ventilation. *ASHRAE Journal*, 48(6), H37-H39. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.617.4714&rep=rep1&type=pdf>
- [18] d'Ambrosio Alfano, F. R., Olesen, B. W., Palella, B. I., & Riccio, G. (2014). Thermal comfort: Design and assessment for energy saving. *Energy and Buildings*, 81, 326-336. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.033>
- [19] Kittler, R. (1967). *Standardization of outdoor conditions for the calculation of daylight factor with clear skies*. The CIE International Conference on Sunlight in Buildings, <https://ci.nii.ac.jp/naid/10004232052/>
- [20] Dubois, M.-C. (2001). *Impact of Solar Shading Devices on Daylight Quality: Measurements in Experimental Office Rooms* (Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. <https://www.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/publications/Report3061.pdf>
- [21] Webb, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy and Buildings*, 38(7), 721-727. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.004>
- [22] Nielsen, P. V. (2015). Fifty years of CFD for room air distribution. *Building and Environment*, 91, 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.035>
- [23] Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073. <https://doi.org/10.1126/science.1067262>
- [24] Li, D. H. W., & Lam, J. C. (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and Buildings*, 33(8), 793-803. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00067-6)

- [25] Shokri, E., Nasrollahi, N., & Ghasemi, S. (2020, September 4). *The function of traditional architectural elements of temperate and humid climate to reduce energy consumption: a study sample of Kalbadi Museum House*. The first scientific research conference on urban planning, civil engineering, architecture and environment, Permanent Secretariat of the Conference, Baku, Azerbaijan. <https://civilica.com/doc/1044403>
- [26] Hosseini, S. H., Shokry, E., Ahmadian Hosseini, A. J., Ahmadi, G., & Calautit, J. K. (2016). Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in Yazd City, Iran. *Energy for Sustainable Development*, 35, 7-24. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.09.005>